सिमेंट

डॉ. माधव खंडेराव घारपुरे

साहित्य आणि संस्कृती मंडळ
महाराष्ट्र राज्य

साहित्य आणि संस्कृति मंडळ
महाराष्ट्र राज्य

विज्ञानमाला क्र. ३७

सिमेंट

डॉ. माधव खंडेराव घारपुरे
एम्. एस्‌सी. (मुंबई), पीएच्. डी. (लंडन), डी. आय्. सी.

महाराष्ट्र राज्य साहित्य आणि संस्कृति-मंडळ,
मुंबई

प्रथमावृत्ती : १९७७ (शके १८९९)

प्रकाशक :

सचिव,
महाराष्ट्र राज्य साहित्य आणि संस्कृति-मंडळ,
मंत्रालय,
मुंबई – ४०० ०३२

© प्रकाशकाधीन्

किंमत : 10–00 रुपये

मुद्रक :

मु. शं. किर्लोस्कर
किर्लोस्कर प्रेस,
वीर सावरकर नगर,
पुणे- ४११ ००९

पुरस्कार

आधुनिक शास्त्रे, ज्ञानविज्ञाने, तंत्र आणि अभियांत्रिकी इत्यादी क्षेत्रात त्याचप्रमाणे भारतीय प्राचीन संस्कृती, इतिहास, कला इत्यादी विषयांत मराठी भाषेला विद्यापीठाच्या स्तरावर ज्ञानदान करण्याचे सामर्थ्य यावे, हा मुख्य उद्देश लक्षात घेऊन साहित्य-संस्कृती मंडळाने वाङ्मय निर्मितीचा विविध कार्यक्रम हाती घेतला आहे. मराठी विश्वकोश, मराठी भाषेचा महाकोश, वाङ्मयकोश, विज्ञानमाला, भाषांतरमाला, आंतरभारती-विश्व-भारती, महाराष्ट्रेतिहास इत्यादी योजना या कार्यक्रमात अंतर्भूत केल्या आहेत.

२. मराठी भाषेला विद्यापीठीय भाषेचे प्रगल्भ स्वरूप व दर्जा येण्याकरिता मराठी विज्ञान, तत्त्वज्ञान सामाजिक शास्त्रे आणि तंत्रविज्ञान या विषयांवरील संशोधनात्मक व अद्ययावत् माहितीने युक्त अशा ग्रंथांची रचना मोठ्या प्रमाणावर होण्याची आवश्यकता आहे. शिक्षणाच्या प्रसाराने मराठी भाषेचा विकास होईल ही गोष्ट तर निर्विवादच आहे. पण मराठी भाषेचा विकास होण्यास आणखीही एक साधन आहे आणि ते साधन म्हणजे मराठी भाषेत निर्माण होणारे उत्कृष्ट वाङ्मय हे होय. जीवनाच्या भाषेतच ज्ञान व संस्कृती यांचे अधिष्ठान तयार व्हावे लागते. जोपर्यंत माणसे परकीय भाषेच्याच आश्रयाने शिक्षण देतात, कामे करतात व विचार व्यक्त करतात तोपर्यंत शिक्षण सकस बनत नाही. संशोधनाला परावलंबित्व राहाते व विचाराला अस्सलपणा येत नाही. एवढेच नव्हे, तर वेगाने वाढणाऱ्या ज्ञानविज्ञानापासून सर्वसामान्य माणसे वंचित राहातात.

३. वरील विषयांवर केवळ परिभाषाकोश अथवा पाठ्यपुस्तके प्रकाशित करून विद्यापीठीय स्तरावर अशा प्रकारचे स्वरूप व दर्जा मराठी भाषेला प्राप्त होणार नाही. सर्वसामान्य सुशिक्षितांपासून तो प्रज्ञावंत पंडितांपर्यंत मान्य होतील अशा ग्रंथांची रचना व्हावयास पाहिजे. मराठी भाषेत किंवा अन्य भारतीय भाषांमध्ये विज्ञान, सामाजिक शास्त्रे व तंत्रविज्ञान या विषयांचे प्रतिपादन करावयास उपर्युक्त अशा परिभाषा-सूची किंवा परिभाषा-कोश तयार होत आहेत. पश्चिमी भाषांना अशा प्रकारच्या कोशांची गरज नसते. याचे कारण उघड आहे. पश्चिमी भाषांत ज्या विद्यांचा संग्रह केलेला असतो, त्या विद्यांची परिभाषा सतत वापराने रूढ झालेली असते. त्या शब्दांचे अर्थ त्यांच्या उच्चारांबरोबर या वाचनाबरोबर वाचकांच्या लक्षात येतात, निदान त्या त्या विषयांतील जिज्ञासूंना तरी ते माहीत असतात. अशी स्थिती मराठी किंवा अन्य भारतीय भाषांची नाही. परिभाषा किंवा शब्द यांचा प्रतिपादनाच्या ओघात समर्पकपणे वारंवार प्रतिष्ठित लेखांत व ग्रंथांत उपयोग केल्याने अर्थ व्यक्त करण्याची त्यात शक्ती येते. अशा तऱ्हेने

उपयोगात न आलेले शद्ब केवळ कोशात पडून राहिल्याने अर्थशून्य राहातात. म्हणून मराठीला आधुनिक ज्ञानविज्ञानांची भाषा बनविण्याकरिता शासन, विद्यापीठे, प्रकाशन-संस्था व त्या त्या विषयांचे कुशल लेखक यांनी मराठी ग्रंथरचना करणे आवश्यक आहे.

४. वरील उद्देश ध्यानात ठेवून मंडळाने जो बहुविध वाङ्मयीन कार्यक्रम आखला आहे, त्यातील पहिली पायरी म्हणून सामान्य सुशिक्षित वाचकवर्गाकरिता, इंग्रजी न येणाऱ्या कुशल कामगाराकरिता व पदवी/पदविका घेतलेल्या अभियंत्यांकरिता सुबोध भाषेत लिहिलेली विज्ञान व तंत्रविषयक पुस्तके प्रकाशित करून स्वल्प किमतीत देण्याची व्यवस्था केलेली आहे. मंडळाने आजवर आरोग्यशास्त्र, शरीरविज्ञान, जीवशास्त्र, आयुर्वेद, गणित, ज्योतिषशास्त्र, भौतिकी, रेडिओ, अणुविज्ञान, सांख्यिकी, स्थापत्यशास्त्र, वनस्पति-शास्त्र, इत्यादी विषयांवर ३७ दर्जेदार पुस्तके विज्ञानमालेत प्रकाशित केली आहेत. प्रकाशचित्रणकला, गणकयंत्रे, रंग, कृत्रिम धागे, पुस्तक-बांधणी, मोटार दुरुस्ती, वैमानिक विद्या, अवकाशयान, साखरनिर्मिती, पाणीपुरवठा, वास्तुकला इत्यादी इतर अनेक विषयांवरील पुस्तके तयार होत आहेत.

५. मंडळाच्या विज्ञानमालेत "सिमेंट" या विषयावर डॉ. मा. खं. बारपुरे यांनी मंडळास पुस्तक लिहून दिले. या विषयावरील मराठी भाषेतील हे पहिलेच प्रकाशन आहे. सदर पुस्तक प्रकाशित करून मराठी वाचकांना सादर करण्यास मंडळास आनंद होत आहे. या विषयाचा अभ्यास करणाऱ्या विद्यार्थ्यांना व बांधकाम व्यवसाय करणाऱ्यांना या पुस्तकाचा उपयोग होईल अशी आशा आहे.

मुंबई
३१ ऑगस्ट, १९७७
९, भाद्र. शके १८९९.

लक्ष्मणशास्त्री जोशी
अध्यक्ष,
महाराष्ट्र राज्य साहित्य संस्कृति-मंडळ

लेखकाचे निवेदन

"सिमेंट" या विषयावर पुस्तक लिहिण्याचा संकल्प सोडून बरेच दिवस झाले. अनेक कारणांमुळे ठरविलेल्या वेळेपेक्षा उशीर झाला. त्यांतले एक कारण म्हणजे, व्याख्याने किंवा लेख यांच्यापेक्षा पुस्तकाकरिता माहितीच्या परिपूर्णतेच्या दृष्टीने बरीच जास्त तयारी केली पाहिजे हे नंतर लक्षात आले.

लिहिताना अडचण होती पारिभाषिक शब्दांची. त्यासाठी पुढील शब्दकोशांचा उपयोग झाला:

(१) पुणे विद्यापीठ वास्तव, रासयन व भू-शास्त्रीय परिभाषा शब्दसंग्रह.

(२) मराठी विश्वकोश, खंड १८— म. रा. साहित्य आणि संस्कृति-मंडळ (१९७३).

(३) इंग्रजी-मराठी स्थापत्य-शिल्प-कोश– रा. वि. मराठे, म. रा. साहित्य आणि संस्कृति-मंडळ (१९६५).

(४) पारिभाषिक शब्दसंग्रह (अंग्रेजी-हिंदी)— Central Hindi Directorate, Ministry of Education, Govt. of India (१९६२).

(५) शास्त्रीय परिभाषा कोश– य. रा. दाते व चिं. ग. कर्वे, महाराष्ट्र कोश मंडळ लि., पुणे (१९४८).

(६) The Student's Universal Dictionary, English – Marathi –वि. वा. भिडे, केशव भिकाजी ढवळे (१९३९).

Cement, mortar, concrete (व autoclave) यांना तेच शब्द वापरले आहेत. Refractory firebricks यासाठी अग्निजित विटा हा वाक्प्रचार चांगला वाटला म्हणून वापरला.

पुस्तक सात प्रकरणांमध्ये विभागले आहे. पहिल्या प्रकरणात प्रास्ताविक, सामान्य व थोडी ऐतिहासिक माहिती आहे. दुसऱ्यात कच्ची द्रव्ये व हल्ली उपयोगात असलेल्या उत्पादन प्रक्रिया यांची चर्चा आहे.

तिसऱ्या व चौथ्या प्रकरणांत पोर्टलंड सिमेंटच्या रासायनिक व वास्तविक गुणधर्मांची माहिती आहे. पाचव्यात या सिमेंटच्या जोडीच्या मिश्र सिमेंट व ॲल्युमिनस सिमेंट यांची चर्चा आहे. या सर्व प्रकरणांत मुख्यतः संबंधित भारतीय मानक

विशिष्टींमध्ये दिलेल्या (गुणधर्म मापन पद्धती व) गुणधर्मांच्या मर्यादा यांच्या संदर्भात चर्चा केलेली आहे. कारण विशिष्टींमध्ये दिलेल्या मर्यादा सिमेंटची एक किमान प्रत कायम असावी ह्याकरिताच असतात.

बांधकामामध्ये सिमेंटचा उपयोग मॉर्टर व कॉंक्रीट या स्वरूपातच होतो. सहाव्या प्रकरणामध्ये मॉर्टर व कॉंक्रीट यांबद्दल माहिती दिलेली आहे. बांधकामाचे जागी सिमेंट, गिलावा वगैरे कसे साठवावे व कॉंक्रीट तयार करताना कसे मापून घ्यावे, तसेच उन्हाळ्यामध्ये बांधकाम करताना काय काळजी घेणे जरूर आहे याची चर्चा आहे.

कारखान्यांतून उत्पादित पदार्थांमध्ये परिमाणाच्या दृष्टीने सिमेंटचा अग्रक्रम लागेल व किमतीच्या दृष्टीने सिमेंट त्यामानाने स्वस्त असल्याने सिमेंटला नजीकच्या काळात काही पर्याय दिसत नाही. परंतु सिमेंटच्या उपयोगाच्या दृष्टीने शास्त्रज्ञांनी कल्पनाचातुर्य लढवून जी वेगवेगळी तंत्रे उपयोगात आणली किंवा विकसित करू पाहात आहेत त्यापैकी काहींचा उल्लेख सातव्या प्रकरणात आहे.

हे पुस्तक लिहिण्यास 'दि असोसिएटेड सिमेंट कंपनीज लि.' (ए. सी. सी.) च्या व्यवस्थापनाने परवानगी दिली व छायाचित्रेही वापरण्यास दिली. याबद्दल त्यांना हार्दिक धन्यवाद. पुस्तक लिहिताना ए. सी. सी. सेंट्रल रिसर्च स्टेशनचे रिसर्च सुपरिंटेंडेंट श्री. रांगणेकर, तसेच माझे मित्र सर्वश्री विनायक आणि काळे व माझ्या पत्नी डॉ. श्री. प्रभा घारपुरे यांचे बहुमोल सहाय्य झाले. (श्री. विनायक यांच्याबरोबर मी किती वेळा चर्चा केली असेल याची गणतीच नाही.) श्री. देवधर यांनी आकृत्या काढून दिल्या. या सर्वांचा ऋणनिर्देश करणे जरूर आहे.

पुस्तक लिहिताना व लिहिल्यानंतर श्री. गो. रं. टोणगावकर (ए. सी. सी. व्हिकर्स बॅबकॉक लि. चे माजी व्यवस्थापकीय संचालक) यांनी ज्या बहुमोल सूचना केल्या, त्याबद्दल त्यांना हार्दिक धन्यवाद.

महाराष्ट्र राज्य साहित्य आणि संस्कृति-मंडळाने मला पुस्तक लिहिण्यास उद्युक्त केले व मंडळाचे मानसेवी संपादक श्री. बा. रं. सुंठणकर यांनी जे सहाय्य केले त्याबद्दल त्यांचे आभार.

दि. १२ एप्रिल, १९७५ माधव खं. घारपुरे

अनुक्रमणिका

		पृष्ठ
प्रकरण १ ले	प्रास्ताविक	१
प्रकरण २ रे	कच्ची द्रव्ये व उत्पादन प्रक्रिया	६
प्रकरण ३ रे	रासायनिक घटना व तिचा वास्तविक गुणधर्माशी कार्यकारणभाव आणि पोर्टलंड सिमेंटचे प्रकार	३०
प्रकरण ४ थे	पोर्टलंड सिमेंटचे वास्तविक गुणधर्म	४६
प्रकरण ५ वे	मिश्रबंधक व ॲल्युमिनस सिमेंट	६८
प्रकरण ६ वे	सिमेंट, मॉर्टर व काँक्रीट	८१
प्रकरण ७ वे	सिमेंट काँक्रीटच्या तंत्राविषयी काही जुने, काही नवे	९८
परिशिष्ट १	या विषयावरील काही भारतीय मानक विशिष्टी	११३
परिशिष्ट २	संदर्भसूची	११५
परिशिष्ट ३	परिभाषा शब्दसंग्रह, मराठी–इंग्रजी	११७
परिशिष्ट ४	परिभाषा शब्दसंग्रह, इंग्रजी–मराठी	१२३

पुरवणी–परिशिष्ट ५–पृ. १२७–१२८ पहा.

छायाचित्रे

छायाचित्र १	चक्री भट्ट्यांचा समूह.	३
छायाचित्र २	हवाई बादल्यांमधून पोलादी दोरखंडावरून कच्चा माल नेण्याची पद्धत.	९
छायाचित्र ३	कच्चा माल दळण्याच्या चक्क्यांचा समूह.	११
छायाचित्र ४	राळा साठविण्याच्या कणग्या.	१३
छायाचित्र ५	चक्री भट्टीच्या टोकाला जोडलेले खंगर थंड करण्याचे "उपग्रहांच्या" प्रकारचे यंत्रसाहित्य.	१५
छायाचित्र ६	खंगर दळण्याची चक्की व ती थंड ठेवण्यासाठी पाण्याचा फवारा	१७
छायाचित्र ७	वावटळी पूर्वतापकांचे संच व त्याखालच्या चक्री भट्ट्या	२५

प्रकरण १

प्रास्ताविक

"सिमेंट"चा शब्दशः अर्थ दोन पदार्थांना जोडणारा वा सांधणारा दुवा किंवा बंधक असा होतो. परंतु "सिमेंट" म्हटले की आपल्या डोळ्यांपुढे बांधकामाला लागणारे "सिमिट" किंवा "पोर्टलंड सिमेंट" येते. या सिमिटाच्या रंगाचे ब्रिटन-मधील पोर्टलंड या गावी मिळणाऱ्या दगडाच्या रंगाशी साधर्म्य असल्यामुळे त्याचे 'पोर्टलंड सिमेंट" असे नाव पडले.

पोर्टलंड सिमेंटच्या शोधाआधी चुनखडीचा किंवा जिप्समचा दगड भाजून त्यापासून मिळणारे चूर्ण सिमेंट म्हणून वापरीत. परंतु ह्या असल्या सिमेंटचा शोध कधी लागला हे सांगता येत नाही. उदा०– हजारो वर्षांपूर्वीचे इजिप्तमधले पिरॅमिड बांधताना अशुद्ध जिप्समचा दगड भाजून त्याचे चूर्ण व पाणी यांचे मिश्रण मोठमोठाले शिळांचे ठोकळे एकत्र सांधण्याला वापरले होते. आपण एवढीच कविकल्पना करू शकतो की आदिमानव जेव्हा विस्तवाचा उपयोग करू लागला तेव्हा त्याने दैवयोगाने चुनखडीच्या वा जिप्समच्या दगडांची चूल रचली व विस्तव पेटवला. विस्तवाच्या उष्णतेने ह्या दगडांचा काही भाग चांगला भाजून जाऊन त्याचे चूर्ण झाले. त्यावर पाऊस, पाणी पडून ते चूर्ण भिजले व त्यामुळे नंतर ते दगड एकमेकांना छानपैकी सांधले गेले. सिमेंटचा शोध असा लागला असावा.

या बंधकांचा प्रचार होण्याआधी बांधकामाची एक पद्धत म्हणजे विशिष्ट आकारात दगड तासून एकावर एक रचून त्यांमध्ये दगडांच्याच पाचरी मारून बंधकाशिवाय शिल्प उभे करणे. आपल्याकडची त्यामानाने अलीकडल्या काळची "हेमाडपंती" रचना या प्रकारची होय.

दुसरी पद्धत म्हणजे दगडविटांना चिखलाचा किंवा चिखलरेतीच्या मिश्रणाचा बंधक म्हणून वापर करणे. अर्थात् जेथे पाऊस कमी तेथे हा बंधक जास्त वर्षे काम करी. महाराष्ट्रात चुनखडीचा दगड वा जिप्सम दुर्मिळ असल्यामुळे पेशवाईच्या काळातसुद्धा साधारणपणे चिखलरेतीचाच बंधक वापरीत.

शुद्ध चुनखडीचा दगड ($CaCO_3$) सुमारे १०००°–११००° सें. तपमानापर्यंत भाजल्यावर त्यातून कार्बन द्विऑक्साइड (CO_2) वायू निघून जाऊन चुनकळी (CaO) मिळते. या चुनकळीचे सिमेंट जलसंयोगी बंधक नाही. म्हणजे ह्या चुनकळीचे पाण्याशी मिश्रण करून ते पाण्याखाली ठेवल्यास [$CaO + H_2O = Ca(OH)_2$] ते घन होणार नाही, तर ते तसेच मलमाच्या स्वरूपात राहील. त्यामध्ये दृढपणा व बल येण्यास ते बरेचसे वाळू द्यावे लागेल व सभोवतालच्या हवेतील कार्बन द्विऑक्साइड वायूची त्याच्याशी रासायनिक विक्रिया [$Ca(OH)_2 + CO_2 = CaCO_3 + H_2O$] व्हावी लागेल. म्हणजेच, या बंधकात दृढ होऊन दमनबल येण्याची क्रिया ठराविक वेळात ठराविक गतीने होणार नाही.

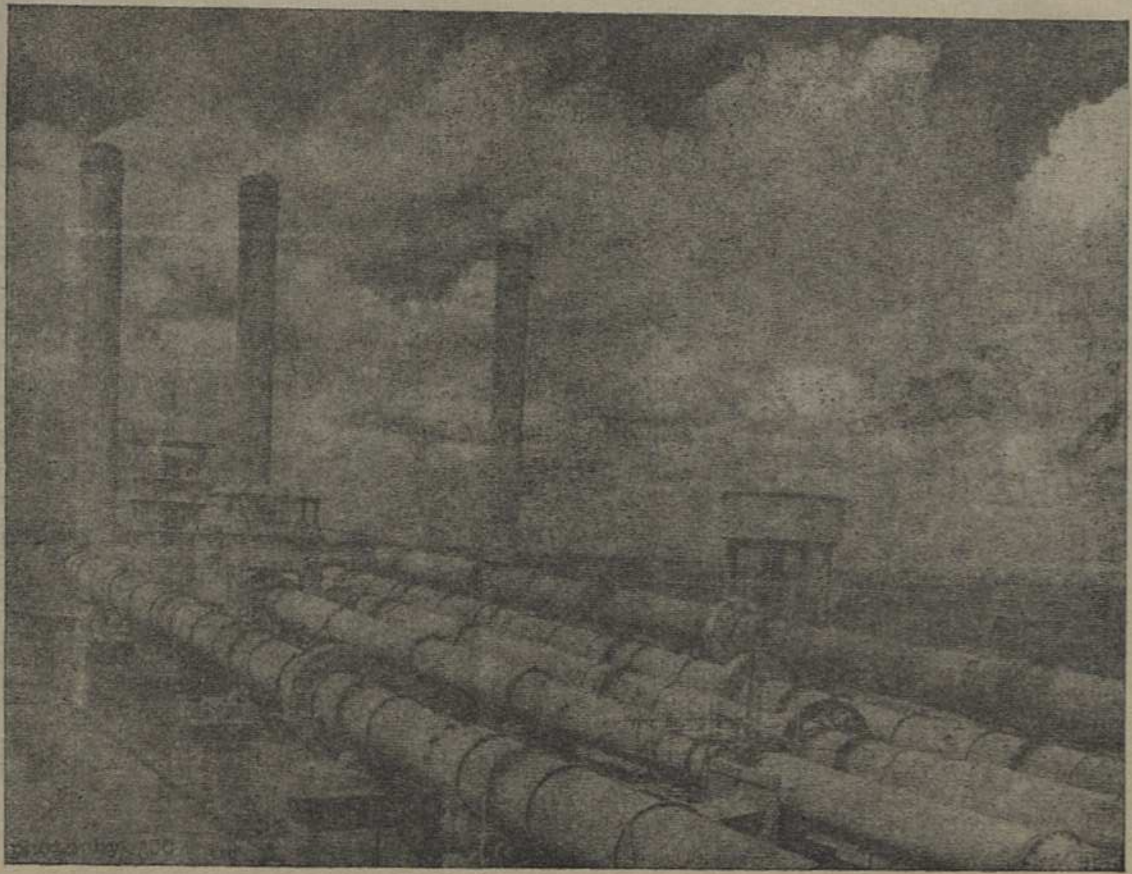
ह्याउलट पूर्वीच्या काळी असेही लक्षात आले होते की काही विशिष्ट तऱ्हेच्या चुनखडीच्या अशुद्ध दगडांपासून भाजून केलेली अशुद्ध चुनकळी जलसंयोगी बंधक असू शकते. या बंधकाचे एकदा पाण्याशी मिश्रण केले की काही ठराविक काळाने पाण्याखालीसुद्धा ते घन होऊन दृढ व शक्तिशाली होते. भारतात भोपाळ व रायपूर जवळ भाजल्यावर जलसंयोगी बंधक होणारा चुनखडीचा दगड मोगलकाळी माहीत होता.

भाजल्यावर जलसंयोगी बंधक न होणाऱ्या भाजलेल्या चुनखडीच्या शुद्ध व अशुद्ध दगडांमध्ये काही विशिष्ट भाजलेल्या मातीचे किंवा ज्वालामुखीपासून तयार झालेल्या काचमय ट्रासचे (Trass) चूर्ण मिसळल्याससुद्धा जलसंयोगी बंधक असे सिमेंट तयार होते असे लक्षात आले व विशेषतः इटलीमध्ये ह्याकामी ट्रासचा उपयोग करू लागले.

जाताजाता सांगण्यास हरकत नाही की भारतामध्ये व नंतर इतरत्र चुन्याच्या बंधकात मळीचा (Molasses) वा रक्ताचा उपयोग करत; व जवळजवळ पन्नास वर्षांपूर्वीपर्यंतसुद्धा भारतात बेलफळाच्या गराचा बंधक म्हणून उपयोग करत असे समजते.

० ० ० ० ०

काहीकाहीच चुनखडीचे दगड भाजल्यावर जलसंयोगी बंधक कसे होतात, म्हणजेच पाण्याखालीसुद्धा दृढ होऊन शक्तिशाली कसे होतात, ह्या प्रश्नाचा अनेक तंत्रज्ञ व शास्त्रज्ञ विचार करत होते. ह्याचे उत्तर प्रथमतः इ. स. १७५६ साली जॉन स्मीटन ह्या एंजिनिअरने दिले. स्मीटनवर इंग्लंडमधील कॉर्नवॉल परगण्याच्या समुद्रकिनारी एडिस्टनचे दीपगृह पुनश्च बांधण्याची जबाबदारी पडली होती. त्याने निश्चय केला की जरी त्याच्या दीपगृहावर पाण्याचा कमीजारत जोराचा एकसारखा



छायाचित्र १ : चक्री भट्ट्यांचा समूह.

मारा होत राहिला तरी त्याचे सिमेंट हा मारा परतवील व दीपगृहाचे दगड एकमेकांना सांधून ठेवील. त्याने ठिकठिकाणचे चुन्याचे व ट्रास वगैरेंचे कित्येक नमुने तपासून पाहिले. शेवटी त्याने एक निष्कर्ष काढला की उत्तम जलसंयोगी बंधक सिमेंट अशुद्ध व मृत्तिकामय अशाच चुनखडीच्या दगडांपासून मिळते.

त्यावेळच्या तांत्रिक किंवा शास्त्रीय मुखपत्रे वगैरेंच्या अभावामुळे स्मीटन व इतर तंत्रज्ञ यांच्या निष्कर्षांना पुरेशी प्रसिद्धी मिळाली नाही, म्हणून नंतर सन १८३० पर्यंत आणखी कमीतकमी सहा वेळा तरी ठिकठिकाणच्या वेगवेगळ्या तंत्रज्ञ / शास्त्रज्ञांनी ह्या प्रश्नाबद्दल अशाच तऱ्हेचे संशोधनपूर्वक शोध पुनःपुन्हा लावले. शेवटी सन १८२४ साली जोसेफ ॲस्पिडनने एका जलसंयोगी बंधकाचे "पोर्टलंड सिमेंट" हे नाव देऊन इंग्लंडमध्ये पेटंट घेतले. परंतु अर्थातच ॲस्पिडनच्या व आजच्या आधुनिक युगातल्या पोर्टलंड सिमेंटमध्ये खूपच फरक आहे.

सिमेंट उद्योगाच्या सुरुवातीला आधुनिक सिमेंटचा रासायनिक पृथक्करणाचा काटेतोलपणा अस्तित्वात नव्हता. नैसर्गिकरीत्या उपलब्ध असलेला मातीमिश्रित चुनखडीचा दगड वापरात घेतला जाई. तयार झालेल्या सिमेंटमधील चुना आदि घटकांचे प्रमाण कमीअधिक असे व त्यानुसार सिमेंटच्या बंधकीय गुणाचा प्रभाव दिसून येत असे. पुष्कळ प्रयोग, संशोधन व अनुभवानंतर ६०–७० टक्के या कक्षेत चुन्याचे (CaO) प्रमाण असलेले सिमेंट सर्वांत प्रभावी व गुणकारी असल्याचे सिद्ध झाले व आजमितीला हेच प्रमाण टिकून आहे.

या पुढील काळात नैसर्गिकरीत्या मिळत नसल्यास कृत्रिमरीतीने चुनखडीच्या चूर्णाशी मातीच्या चूर्णाचे मिश्रण करून चुन्याचे प्रमाण वरील कक्षेत आणू लागले, व त्या मिश्र चूर्णात पाणी कालवून विटा बनवून व भाजून सिमेंट बनविण्याचे यंत्र हळूहळू अमलात आले.

सिमेंटच्या कारखानदारीतसुद्धा खूपच फरक झालेला आहे. आधीच्या काळी वरील दगडांचे वा विटांचे घाणे उभ्या भट्ट्यात भाजून त्यांचे नंतर दळून सिमेंट करीत. दर घाणा भाजल्यावर भट्टी विझवून ती थंड झाल्यावर आतला माल बाहेर काढून नवीन घाणा भरला जाई. इंधनाच्या बाबतीत कमी खर्चाच्या परंतु मनुष्यबळाच्या बाबतीत जास्त खर्चाच्या या भट्ट्यांना हळूहळू लहानग्या चक्री भट्टीने मागे टाकले. सुरुवातीच्या एका चक्री भट्टीचा व्यास १॥ मीटर व लांबी ७॥ मीटर होती. सतत चालणाऱ्या या चक्री भट्टीला अर्थातच कमी मनुष्यबळ पुरत असे.

चक्री भट्टीमध्ये (छायाचित्र १ पृ. क्र. ३) कच्च्या द्रव्याचे दगड किंवा विटा न भाजता या द्रव्याचे चूर्णाचा राळा एका बाजूने सतत ओतत राहतात व दुसऱ्या बाजूने भाजलेला सिमेंटचा खंगर सतत बाहेर पडत राहतो.

ह्या चक्री भट्ट्यांच्या आकारमानात व रचनेत बऱ्याच सुधारणा झालेल्या आहेत. आजच्या अजस्त्र चक्री भट्टीचा व्यास २.५ ते ६ मीटर व लांबी ५० ते १५० मीटर असतो व सर्वांत मोठ्या भट्टीतून दर दिवशी ४००० टन भाजलेला सिमेंटचा खंगर बाहेर पडतो.

तसेच इंधन वाचविण्यासाठी हल्लीच्या भट्टीमध्ये कच्च्या मालाच्या चूर्णाचा राळा न ओतता चूर्णाची कोरडी भुकटीच आत ओतत राहतात. या सर्व गोष्टींची चर्चा पुढे येईलच.

भट्टीतून बाहेर पडलेल्या खंगरात सुमारे ५ टक्के जिप्समचा दगड मिसळून दळल्यावर पोर्टलंड सिमेंट मिळते.

पोर्टलंड सिमेंट ह्या पदार्थाची शास्त्रीय माहिती मिळविण्याची सुरुवात सन १८५५ चे सुमारास ल शॅतिलिए ह्या फ्रेंच शास्त्रज्ञाने केली व आपल्या शास्त्रीय ज्ञानाचा पाया त्यानेच रचला. या सिमेंटमधली प्रमुख संयुगे म्हणजे त्रिकॅल्शम सिलिकेट, द्विकॅल्शम सिलिकेट, त्रिकॅल्शम ॲल्यूमिनेट व चतुःकॅल्शम ॲल्यूमिनो फेराइट. यांपैकी पहिल्या दोन प्रमुख संयुगांमुळे जलसंयोग झालेल्या सिमेंटच्या शिळेमध्ये दृढता व बल येते. तिसऱ्या संयुगाचे प्रमाण थोडे असते, तरीसुद्धा त्याच्या शीघ्र जलसंयोगामुळे सुरुवातीची दृढता त्याचेमुळेच असते.

भारतामध्ये सन १९०४ मध्ये प्रथम सिमेंटचे उत्पादन झाले. परंतु सिमेंटची भक्कम कारखानदारी सन १९१४ पासून उभारली गेली व त्यासाली जवळजवळ १००० टनांचे उत्पादन झाले. प्रथम पंचवार्षिक योजनेच्या काळात, म्हणजेच १९५१ ते १९५६ पर्यंत सिमेंटचे वार्षिक उत्पादन ३२.२ लाख टनांपासून ५०.२ लाख टनांपर्यंत वाढले. दुसऱ्या योजनेनंतर १९६१ साली ते ७८ लाख टनांपर्यंत वाढले. तिसऱ्या योजनेच्या शेवटी, म्हणजे १९६६ चे सुरुवातीस ते १ कोटी टनांपर्यंत आले; म्हणजे योजनेपेक्षा २० लाख टन कमी झाले. १९६६ व १९६७ साली ते साधारण १ कोटी १० लक्ष टनांपर्यंत येऊन ठेपले. जगाचे त्यावेळचे वार्षिक उत्पादन १५॥ कोटी टन होते. आजची भारताची सिमेंट उत्पादनाची अधिष्ठापित क्षमता वर्षाला १९८ लक्ष, म्हणजे जवळजवळ २ कोटी टन इतकी आहे व सिमेंटचे पन्नासावर कारखाने आहेत.

आज सिमेंटचा नवीन कारखाना काढणे असेल तर त्या कारखान्याची जितके टन वार्षिक उत्पादनाची अधिष्ठापित क्षमता असेल त्या प्रत्येक टनामागे कारखान्याला सुमारे ६०० ते ७५० रुपये भांडवली खर्च येईल.

प्रकरण २

कच्ची द्रव्ये व उत्पादन प्रक्रिया

पोर्टलंड सिमेंट तयार करण्याकरिता लागणाऱ्या कच्च्या द्रव्यांच्या चूर्णांचे योग्य प्रमाणातले मिश्रण सुमारे १४५०° सें. तपमानापर्यंत भाजतात. या कच्च्या द्रव्यांपैकी प्रमुख घटक म्हणजे कॅल्शम कार्बोनेट, $CaCO_3$ व दुसरे म्हणजे ॲल्यु-मिनिअम सिलिकेट्स.

कॅल्शम कार्बोनेट किंवा चूर्णीय वा खटिमय पदार्थ म्हणून बहुतेक सर्व कारखान्यात चुनखडक वापरतात. चुनखडक ठिकठिकाणी वेगवेगळ्या स्थितीमध्ये मिळतो. उदा०– चॉक, गाळाचा चुनखडक, प्रवाळ चुनखडक, कार्बोनिटाइट व शिंपल्याप्रमाणे कवची स्वरूपाचा चुनखडक. प्रथम ब्रिटनमध्ये व त्यानंतर भारतामध्ये एका सिमेंटच्या कारखान्यात खत कारखान्यातून रोज शेकडो टन उपफल म्हणून मिळणारा चुन्याचा चिखल खटिमय कच्चे द्रव्य म्हणून वापरीत आहेत.

खाणीतून निघणारा चुनखडक अर्थातच १०० टक्के शुद्ध $CaCO_3$ नसतोच. त्यामध्ये मृत्तिकेसमान पदार्थांचे व गारेचे मिश्रण असतेच. तसेच यांत्रिक पद्धतीने किंवा मनुष्यबळाचा वापर करून हातांनीसुद्धा रोज शेकडो टन चुनखडक वेचताना इतर आजूबाजूचे मृण्मय पदार्थ त्याबरोबर येतातच. हे मृण्मय घटक प्रमाणापेक्षा जास्त येत असले तर कच्च्या द्रव्यातले $CaCO_3$ चे प्रमाण ७७–८० टक्क्यांपेक्षा कमी होईल. असे होऊ नये म्हणून काही ठिकाणी हे कच्चे द्रव्य धुऊन त्यातील मृण्मय पदार्थांचे प्रमाण कमी करून ते जास्त शुद्ध करून घेता येते.

चुनखडकाच्या खाणीत उत्तम प्रतीच्या चुनखडकाबरोबरच जरा कमी प्रतीच्या (६५–७५ टक्के $CaCO_3$) चुनखडकाचा साठा भरपूर असू शकतो. ह्या कमी प्रतीच्या चुनखडकामधले $CaCO_3$ चे स्फटिक जर सूक्ष्मच, पण त्यामानाने मोठे असल्यास अशा चुनखडकाचा कस पुढीलप्रमाणे फेस-तरण प्रक्रियेने वाढविता येतो.

याकरिता प्रथम चुनखडकाचे चूर्ण करून पाण्यामध्ये त्याचा राळा बनवितात. चूर्णामध्ये $CaCO_3$ चे स्फटिक त्यामानाने मोठे असल्याने $CaCO_3$ व इतर द्रव्ये यांचे कण एकमेकांपासून अलग झालेले असतात. आता या राळ्यामध्ये

फेसकर्ता व धनायनी तरणकर्ता असे दोन्ही प्रकारचे पदार्थ काही विशिष्ट प्रमाणात पाण्यात विरघळवून घालतात व राळा ढवळून त्यामध्ये पंपाद्वारे हवा सोडतात.

हवा सोडल्यावर फेसकर्त्यामुळे हवेचे असंख्य बुडबुडे जमून राळ्यावर फेस तयार होतो. याच वेळी धनायनी तरणकर्त्यांचे रेणूंचा $CaCO_3$ च्या कणाभोवती पृष्ठस्तर तयार झालेला असतो व या पृष्ठस्तरामुळे हे $CaCO_3$ चे कण हवेच्या बुडबुड्यांना चिकटून फेसाबरोबर वर तरंगतात. फेस बाजूला काढल्याबरोबर हे कणही त्याबरोबरच निघतात व अशा प्रकारे तरण होऊन निघालेल्या चूर्णाच्या भागाचा कस पुरेपूर वाढलेला असतो.

फेसतरण प्रक्रिया बऱ्याच विविध तऱ्हांच्या धातुपाषाणांचा कस वाढविण्यास उपयोगी पडते. परंतु सिमेंट तयार करण्याकरिता चुनखडकाचा कस वाढविण्याकरिता ही प्रक्रिया वापरावयाची म्हणजे या प्रक्रियेखाली रोज शेकडो टन चुनखडकाचे चूर्ण जाणे प्राप्त होते. तसेच, दुसरे म्हणजे फेसकर्ता, तरणकर्ता वगैरे जी रसायने वापरावयाची त्यांची किमत पुरेशी कमी हवी, नाहीतर ही प्रक्रिया परवडणारी ठरणार नाही. भारतात किमान चार सिमेंट कारखान्यात कमी प्रतीच्या चुनखडकाची प्रत वाढविण्याकरिता फेस-तरण प्रक्रियेचा उपयोग करीत आहेत.

आपण पाहिलेच आहे की सिमेंट तयार करण्याला लागणाऱ्या कच्च्या द्रव्यांचे योग्य ते रासायनिक पृथक्करण मिळण्याकरिता चुनखडकाबरोबर एक किंवा एकापेक्षा जास्त इतर मृण्मय कच्ची द्रव्ये मिसळावी लागतात. ही द्रव्ये म्हणजे निसर्गात खडकांवर वातावरण क्रियेमुळे विद्राव्य पदार्थ पाऊस पाण्याबरोबर निघून गेल्यामुळे उरलेले सिलिका SiO_2, ॲल्यूमिना Al_2O_3, आयर्न ऑक्साइड Fe_2O_3 हे प्रमुख अविद्राव्य घटक असलेले निक्षेप. ह्यांचेमध्ये साधारणपणे निवडक जातींची माती, अश्म ह्यांचा व स्लेट, सुभाज, ज्वालामुखीचे खडक व रक्षा, नदीच्या मुखाचा चिखल, जलोठीय मळी ह्यांचाही उपयोग करतात. Al_2O_3 चे किंवा Fe_2O_3 चे प्रमाण वाढविण्यास मृण्म, बॉक्साइट वगैरे वापरतात.

० ० ० ० ०

सिमेंटच्या कारखान्याकरिता रोज शेकडो टनावारी चुनखडक लागणार. चुनखडकाचा निक्षेप अगदी जमिनीच्या पृष्ठभागापर्यंत नसेल तर त्याच्यावरचा नको असलेला माल बाजूला काढणे जरूर असते. निक्षेप नरम असेल तर चुनखडक यंत्रांचे साहाय्याने सरळ उकरून काढता येतो. ह्या उलट कठीण खडक सैल करण्याला अंतरा-अंतरावर खडकाला खोलवर वायूच्या दाबाच्या जोरावर चालणाऱ्या विंधण्याच्या

हत्याराने सुमारे १०० ते १५० मि. मी. पर्यंत व्यासाची भोके पाडून घेतात. ह्या भोकांच्यामध्ये सुरुंगाची दारू भरून तिचा एकदम स्फोट करतात.

रोज शेकडो टन माल खाणीपासून कारखान्यापर्यंत नेण्याच्या विविध पद्धती आहेत. खाण व कारखाना यांचेमधला प्रदेश जर फार उंचसखल असेल, किंवा त्यामधून नदी-नाला आडवा गेला असेल, तर माल फिरत्या हवाई पोलादी दोरखंडावरून मोठाल्या बादल्यांतून आणत राहतात. (छायाचित्र २ पृ. क्र. ९). पण याकरिता खडक खाणीमध्येच प्रथम चूरक यंत्रातून काढणे जरूर असते. मधला प्रदेश सरळ सपाट असेल तर त्यावर रूळ टाकून लोहमार्गाने वाघिणींतून आणतात. हे रूळ अगदी निक्षेपाच्या कडयापर्यंत टाकतात. निक्षेपाच्या शिरा अरुंद असल्या, किंवा खोदकामाचा वेग जास्त असला तर खाणीपाशी नवीन लोहमार्ग टाकणे, किंवा जुन्याचा मार्ग बदलणे पुन:पुन्हा लवकर करावे लागते. अशा ठिकाणी अरुंद विस्ताराचा लोहमार्ग पसंत करतात. खाण कारखान्याजवळ असेल व मधला प्रदेश साधारण सपाट असेल तर मोठया डंपर ट्रकांमधून खडक नेणे सोयीस्कर पडते.

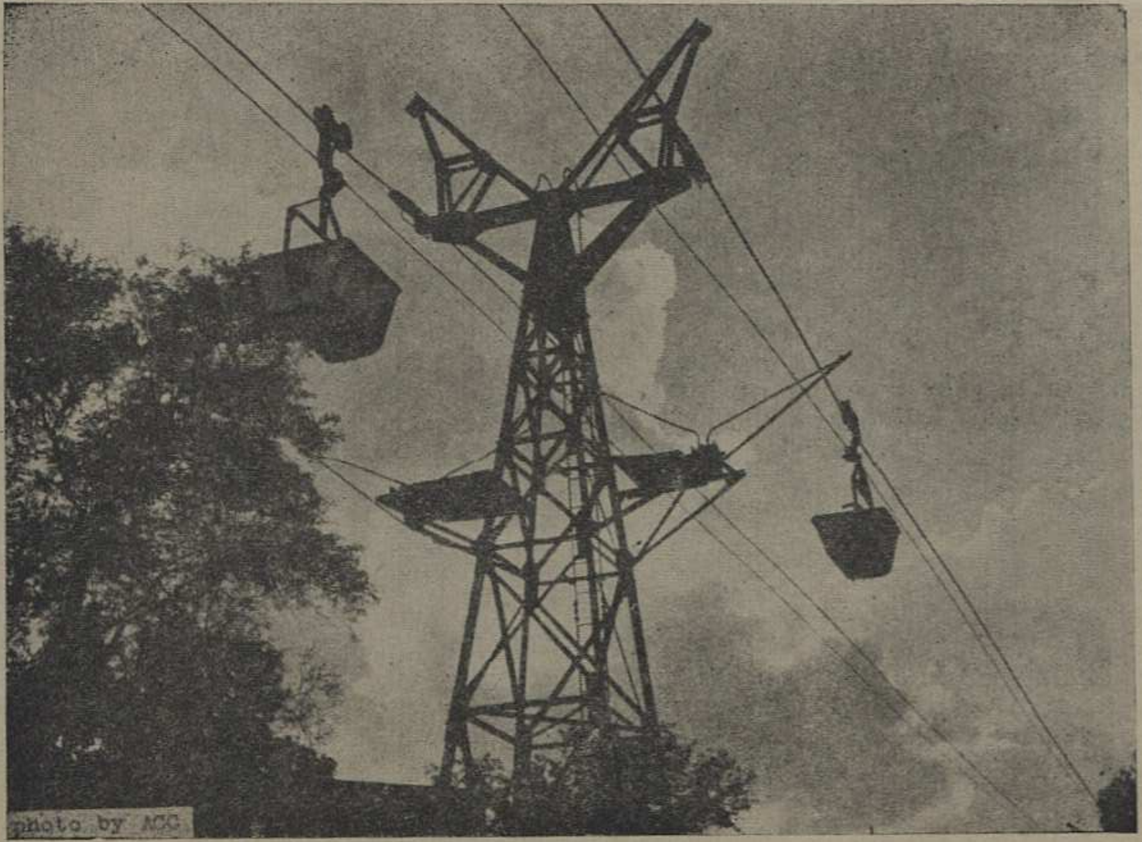
० ० ० ० ०

कच्चा माल कारखान्यात शिळांच्या स्वरूपात येतो. या शिळांचा आकार साधारणत: ०.२ ते १ मीटरपर्यंत असतो. या शिळा चूरक यंत्रांत घालून त्यांचा २ सें. मी. पेक्षा कमी आकार होईल इतका चुराडा करून त्यानंतर हा चूर दळण्याकरिता चक्कीत घालतात.

एकाच चूरकातून पुरेसा बारीक चूर करणे कठीण असते, कारण यंत्रात माल सारखा अडकण्याची भीती असते. म्हणून साधारणत: प्राथमिक चूरकातून शिळांचा आकार १/४ ते १/६ इतका कमी करतात व पुढे दुय्यम चूरकातून आकार चक्कीला झेपेल इतका कमी आणतात.

ही चूरक यंत्रे निरनिराळ्या प्रकारची असतात. त्यातला एक प्रकार म्हणजे 'जबडा चूरक.' यात दोन जाड पोलादी पाट साधारण उभे पण एकमेकांशी कोन करून एकमेकांपासून जवळ लांब होत राहतात. त्यामुळे ह्या दोहोंमध्ये ज्या शिळा वरच्या अंगाने पडतात, त्यांचा चुराडा होऊन चूर खाली पडतो.

यांचा दुसरा प्रकार म्हणजे "परिभ्रमी वा शंकू चूरक." येथे बाहेरच्या अंतर्गोल (किंवा उलटा शंकू) "भांडया"मध्ये एक शंकुशीर्ष तक्ता विमध्य परिभ्रमत असतो. त्यामुळे भांडयाचे व शंकूचे पृष्ठभाग सारखे जवळ लांब होत राहतात. जर जबडा



छायाचित्र २ : हवाई बादल्यांमधून पोलादी दोरखंडावरून कच्चा माल नेण्याची पद्धत.

चूरकाचे पाट गोलाकृती कल्पिले तर त्यांची तुलना ' परिभ्रमी किंवा शंकू चूरकां'शी होईल.

आघाती किंवा हातोडी चूरकामध्ये हातोड्यांसारखे पोलादी तुकडे वेगाने गोल फिरत असतात, व त्यांचे मार्गात येणाऱ्या शिळांवर / दगडांवर जोराचा आघात करून त्यांचा चुराडा करतात.

० ० ० ० ०

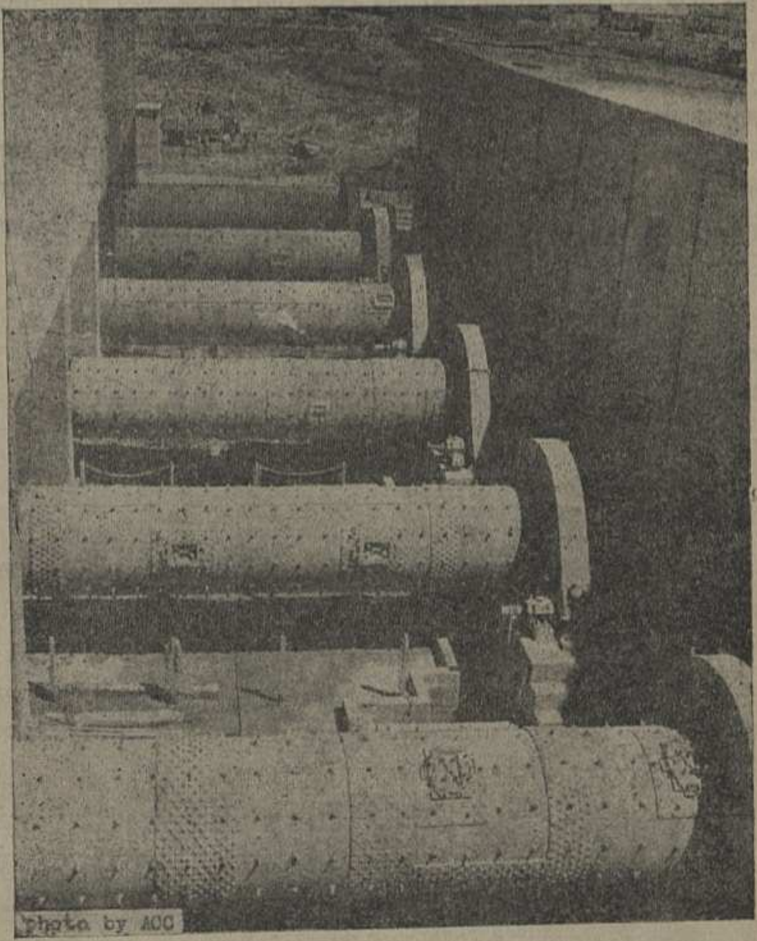
आता यापुढे सगळ्या कच्च्या द्रव्यांचे रासायनिक पृथक्करण करून घेतात, व त्याच्याप्रमाणे ती द्रव्ये योग्य प्रमाणात मिसळून चक्कीमध्ये दळण्याकरिता घालत राहतात.

ज्या कारखान्यात सिमेंट तयार करण्याची ओली पद्धत वापरतात, तिथे चक्की-मध्ये कच्च्या द्रव्यांच्या चुन्याच्या मिश्रणाबरोबरच पाणीही ओतत राहतात. ही ओली पद्धत आज बरीच वर्षे वापरात आहे व तिचाच आपण प्रथम विचार करू या.

कच्चा माल दळण्याची ही चक्की म्हणजे चित्याकृती सुमारे २ ते ३.५ मीटर व्यासाची व १३ ते ८ मीटर लांबीची आडवी खोलीच म्हणाना (छायाचित्र ३ पृ. क्र. ११). ही चक्की आपल्या अक्षाभोवती दर मिनिटाला साधारणपणे २२ ते १५ परिभ्रमणे करत असते. हिच्या आतल्या भिंतीवर जाड, चिवट पोलादी पाट ठोकलेले असतात, आणि त्यांचे आतल्या परिघावर ७ ते १३ सें. मी. जाडीपर्यंत आकृतिबंध "पायऱ्या" असतात. या पायऱ्यांमुळे चक्कीच्या आतला माल सारा वेळ वर उचलला जाऊन खाली पडत राहतो. त्याबरोबरच चक्कीत घातलेले २० ते १०० मि. मी. आकाराचे लोखंडी गोळेही चक्कीतच वरून खाली सारा वेळ फेकले जाऊन कच्च्या मालाचे चूर्णीकरण होते. गरजेप्रमाणे या चक्कीचे दोन वा तीन भागही पाडलेले असतात. त्यायोगे दळण्याची क्रिया जास्त सुकर होते.

चक्कीमध्ये पूड किती बारीक दळावी ? पूड जितकी बारीक दळू तितका दळण्याला लागणारा विद्युत्शक्तीचा खर्च वाढेल, पण ती पूड भाजायला सोपी पडेल. म्हणजे भाजताना रासायनिक विक्रिया आणि नवे संयुगीकरण लवकर होऊन ज्वलनाचा- म्हणजेच इंधनाचा— खर्च कमी पडेल. म्हणून प्रत्येक सिमेंटच्या कारखान्यात दळण्याच्या व इंधनाच्या खर्चाचा अभ्यास करून दोहोंमध्ये समतोल राखतात. (साधारणपणे ०.०९ मि. मी. भोकाच्या चाळणीवर वजनी १५ ते १८ टक्के भरड अवशेष राहील इतकी पूड दळतात.)

० ० ० ० ०



छायाचित्र ३ : कच्चा माल दळण्याचा चक्क्यांचा समूह.

चूर्ण झाल्यावर कच्च्या मालाचा राळा चक्कीच्या दुसऱ्या टोकाकडून बाहेर पडत राहतो. हा राळा मोठाल्या कणग्यांतून (छायाचित्र ४ पृ. क्र. १३) साठवतात. कणगी भरताना ती पुरी भरायच्या आत या कच्च्या मालाच्या राळयाचे रासायनिक पृथक्करण करतात व विशेषत: यातील CaO चे प्रमाण निश्चित करतात. यावरून ह्यात बदल होणे जरूर असेल तर त्यात दुसऱ्या कणगीतला राळा प्रमाणात मिसळतात, किंवा चक्कीमध्ये घालत असलेल्या कच्च्या द्रव्यांच्या प्रमाणात बदल करून मग कणगी भरतात. म्हणजे कणगी भरते तेव्हा राळयाचे रासायनिकदृष्ट्या दुरुस्तीकरण झालेले असते. असा दुरुस्तीकृत राळा आता चक्री भट्टीमध्ये भाजण्यास तयार झालेला असतो व पाहिजे तेव्हा तो पंपाच्या साहाय्याने भट्टीत ओतला जातो.

भट्टीमध्ये ओतल्या जाणाऱ्या कच्च्या मालाच्या मिश्रणामध्ये $CaCO_3$ चे प्रमाण सुमारे ७५–७७ टक्के इतके असते. म्हणजेच कच्च्या मालाचे पृथक्करण पुढीलप्रमाणे :

CaO ४२–४४%

CO_2 ३३–३५%

SiO_2, Al_2O_3, Fe_2O_3, MgO इ. २०–२५%

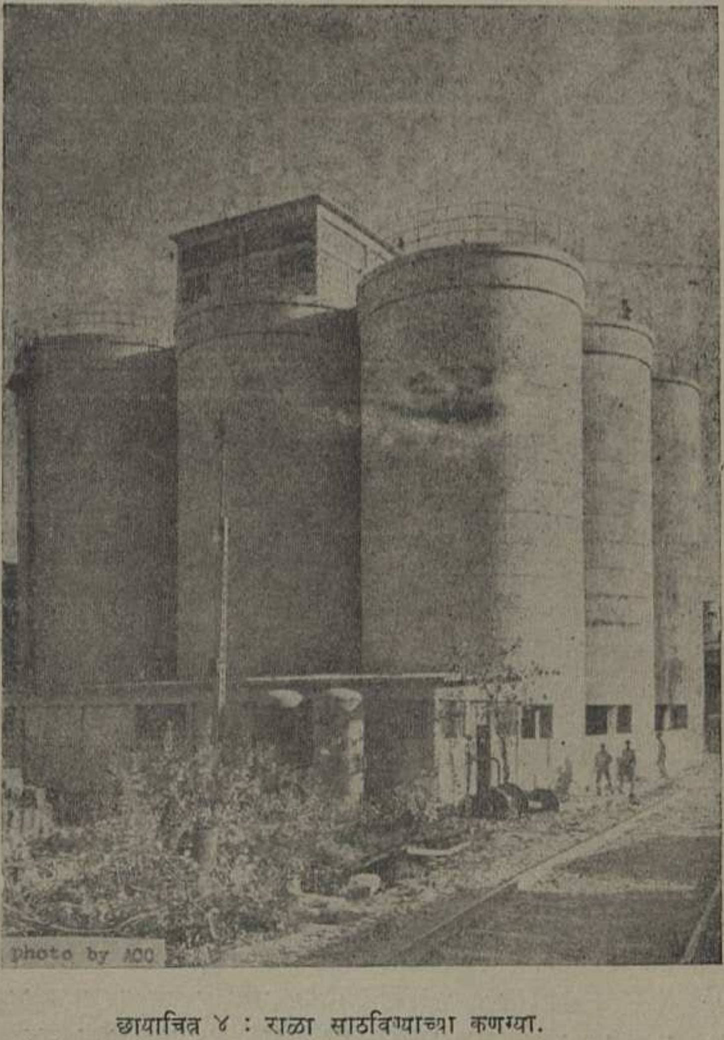
ह्यापैकी कार्बन द्वि-ऑक्साइड वायू भट्टीमध्ये उडून जातो. म्हणजेच १००० टन कच्च्या मालापासून चक्री भट्टीतून सुमारे ६५० टन भाजलेला खंगर बाहेर पडतो.

राळा ज्या चक्री भट्टीत ओतत राहतात ती चक्री भट्टी (छायाचित्र १ पृ. क्र. ३) कार्यक्षमतेप्रमाणे २.५ ते ६ मीटर व्यासाची व ५० ते १५० मीटर अशा अजस्र लांबीची असते. ही आडवी पण किंचित कललेली-उभारलेली असते, आणि आपल्या अक्षाभोवती दर मिनिटाला $\frac{3}{4}$ ते $2\frac{1}{2}$ फेरे संतत मारीत असते.

भट्टीच्या वरच्या तोंडाने आत सतत ओतलेला माल तिच्या परिभ्रमणामुळे हळूहळू खाली सरकत सुमारे १।। ते २।। तासांत भाजला जाऊन खालच्या तोंडाने गरम खंगराच्या गोळयांच्या स्वरूपात बाहेर पडतो.

भट्टीच्या खालच्या तोंडाने इंधनाचा– म्हणजे कोळशाच्या भुकटीचा किंवा इंधन तेलाचा– फवारा हवेच्या झोताबरोबर आत उडवीत ठेवलेला असतो. हा लगेच पेट घेऊन इंधनज्योत १०–१५ मीटर लांबीपर्यंत झेप घेते. ह्या ज्योतीमुळे भट्टीचा ह्या टोकाजवळचा भाग १४५०° सें. तपमानापर्यंत तापतो.

ज्योतीपासून पुढे जाणारी गरम हवा चक्री भट्टीत वरून खाली येणाऱ्या मालाला आपली उष्णता देत राहते; म्हणजेच माल गरम होत होत खाली सरकत राहतो व हवा कमी गरम होत वर वर पुढे जाते. ह्या हवेचा झोत चक्री भट्टीच्या बाहेर पडण्या-



छायाचित्र ४ : राळा साठविण्याच्या कणग्या.

पूर्वी त्यातली उष्णता शक्यतो काढून घेऊन त्या उष्णतेचा पुरेपूर उपयोग करून घेण्याच्या दृष्टीने भट्टीच्या आत वरच्या तोंडाशी अनेक ढिले साखळदंड टांगून त्यांचा एक जाड पडदाच असतो. हे साखळदंड हवेच्या झोतातली उष्णता जणू काही शोषून घेऊन स्वतः गरम होतात व गरम हवेचे तपमान सुमारे २००° सें. पर्यंत खाली आणतात. हवेकडून मिळविलेली उष्णता हे साखळदंड भट्टीच्या फेऱ्यांबरोबर कच्च्या मालाला परस्पर देऊन त्याचे तपमान वाढवतात.

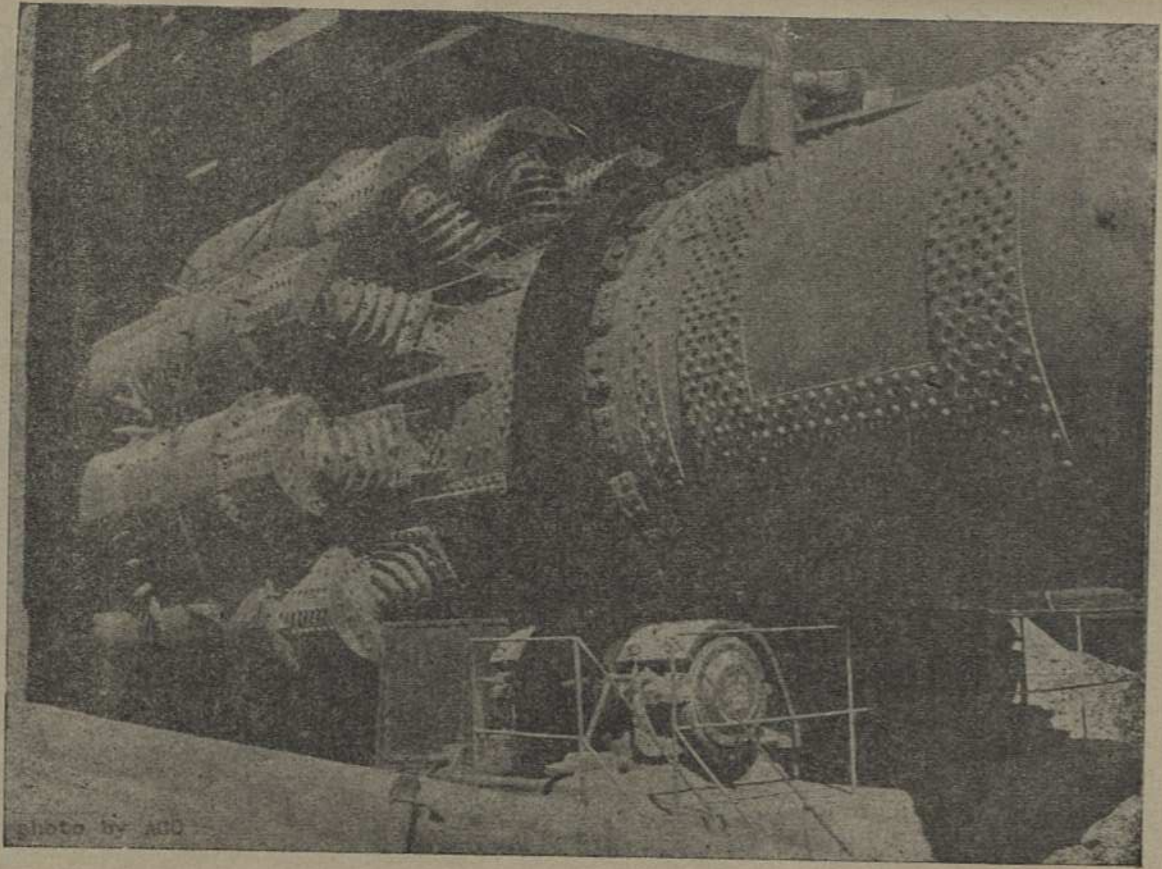
मालाला व साखळदंडांना उष्णता देऊन हवा भट्टीच्या वरच्या तोंडाने २००° सें. ला बाहेर पडून चिमणीतून वर वातावरणात जाते. चिमणीच्या तळाशी ह्या गरम हवेच्या झोताबरोबर आलेली धूळ जमा होते व थोडीशी धूळ वातावरणात हवेच्या झोताबरोबर फेकली जाते.

कच्च्या मालाचा राळा भट्टीत जसजसा पुढे सरकू लागतो तसतसे त्याचे तपमान वाढू लागते. सुमारे १००° सें. पर्यंत राळ्यातल्या पाण्याचे बाष्पीभवन होऊन माल कोरडा होतो. पुढे ५००–६००°सें. पर्यंत त्यात माती, बॉक्साइट वगैरे जे पदार्थ असतील त्यांचे स्फटिकातील पाणी निघून जाऊन ते पदार्थ निर्जल बनतात. सुमारे ९००° सें. तपमानाला कॅल्शम कार्बोनेटमधला कार्बन द्वि-ऑक्साइड वायू निघून जाऊन उरतो चुना, CaO.

१२५०–१२८०° सें. चे सुमाराला मालातील Al_2O_3 व Fe_2O_3 मिळून द्रवरूप होऊ लागतात व येथून पुढे प्रमुख रासायनिक विक्रिया सुरू होऊन ज्योतीच्या टोकाजवळ सुमारे १४००–१५००° सें. तपमानाला ह्या विक्रिया बहुतांशी पुऱ्या होतात. मालाचा काही भाग द्रवरूप झाल्यानेच ह्या रासायनिक विक्रिया वेगाने सुरू होतात. तसेच, तापलेल्या ह्या मालाची भुकटी चक्री भट्टीत फिरत असते, व त्यातला काही भाग जेव्हा द्रवरूप होतो तेव्हा ह्या चूर्णाच्या गोळ्या बनू लागतात.

एकदा ह्या खंगराच्या गोळ्या ज्योतीच्या टोकाजवळ पुऱ्या भाजल्या गेल्या की त्या भट्टीच्या बाहेर काढून गार होऊ देणे एवढेच काम. परंतु खंगर जर नुसताच थंड होऊ दिला, तर त्याची उष्णता तिचा काहीही उपयोग न होता वाया जाईल. १०० कि. ग्रॅ. गरम खंगरातली जास्तीची ही उष्णता ५ कि. ग्रॅ. कोळसा जाळल्यावर जी उष्णता निर्माण होते तिच्या एवढी आहे. म्हणून हवेच्या झोताच्या साहाय्याने खंगराचे तपमान १५०° सें. पर्यंत किंवा त्याहीपेक्षा खालीआणतात; व ही गरम हवा भट्टीमध्ये इंधनाच्या ज्वलनाकरिता वापरल्याने इंधनाची थोडी बचत करतात. तसेच, खंगराचे तपमान एकदम खाली आणल्याने त्याच्या गुणधर्मातसुद्धा काही इष्ट बदल होतात.

खंगरातील उष्णता काढून घेण्याचा एक प्रकार म्हणजे असा : चक्री भट्टीतला गरम खंगर तिच्या खालच्या यंत्रसाहित्यात पडतो. हे यंत्रसाहित्य चक्री भट्टीप्रमाणेच



छायाचित्र ५ : चक्री भट्टीच्या टोकाला जोडलेले खंगर थंड करण्याचे " उपग्रहांच्या " प्रकारचे यंत्रसाहित्य.

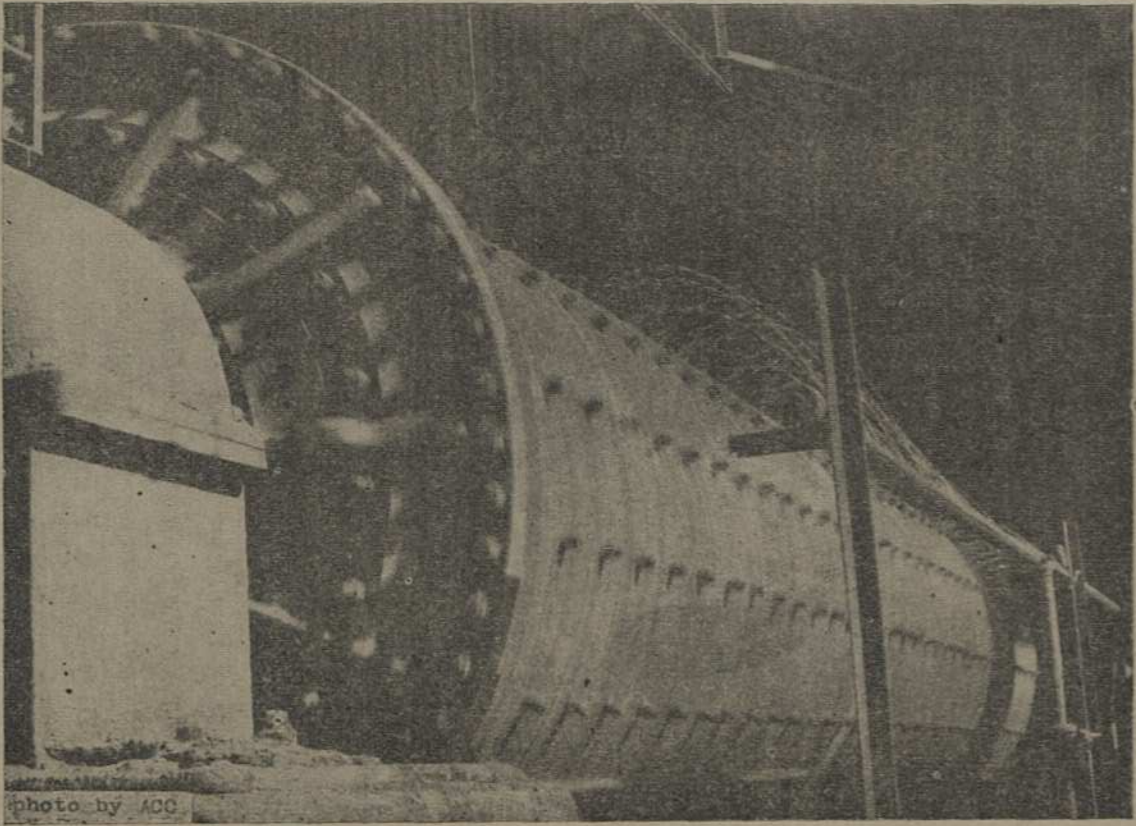
चित्याकृती असते, व तिच्याप्रमाणेच आडवे परंतु किंचित कललेले उभारले असून तिच्याप्रमाणेच ते आपल्या अक्षाभोवती फिरत असते. या यंत्रसाहित्यात हवा वर ओढली जाऊन गरम होते व खंगर घसरत खाली जाऊन थंड होतो. ही पद्धत हल्ली नवीन कारखान्यात वापरत नाहीत.

खंगरातली उष्णता काढण्याची नंतर प्रचारात आलेली पद्धत म्हणजे चक्री भट्टीशी एकसंध, "उपग्रहां"च्या प्रकाराचे यंत्रसाहित्य. (छायाचित्र ५पृ. क्र. १५) ह्यामध्ये सुमारे अर्धा ते १ मीटर व्यासाची व ५ मीटर लांबीची नळकांडी चक्री भट्टीच्या खालच्या तोंडाशी परिघाला चिकटून समांतर रचनेत असतात. यांच्या व चक्री भट्टीच्या परिघांचे भाग जेथे एकमेकांना चिकटतात तेथे दोघांचेही कवचांना आरपार भोके ठेवतात. त्यामुळे चक्री भट्टीच्या व या उपग्रह नळकांड्यांच्या चक्री भट्टी भोवतीच्या परिभ्रमणामुळे भट्टीतला गरम खंगर यांमध्ये पडून खाली खाली घसरत शेवटी बाहेर पडतो. त्याचप्रमाणे बाहेरून हवा यांचेमध्ये ओढली जाऊन ती गरम हवा शेवटी भट्टीत जाते.

खंगर थंड करण्याची आणखी एक पद्धत आहे. ह्या पद्धतीत गरम खंगर सच्छिद्र पाटांच्या रांगेवर एका टोकाला पडत राहतो. ह्या पाटांची एकावर एक अशी पायऱ्यांप्रमाणे रचना केली असून एकाआड एक पाट दुसऱ्यावर पुढेमागे फिरत असतात. त्यामुळे खंगराच्या गोळ्या पुढेपुढे ढकलल्या जातात. या पाटांखालून हवेचा झोत छिद्रांमधून वर फेकला जात असतो. ही हवा खंगरातली उष्णता शोषून घेऊन पुढे चक्री भट्टीत जाते व खंगर थंड होत होत दुसऱ्या टोकाला बाहेर पडतो.

सिमेंटच्या कारखान्यातल्या या चक्री भट्टीचे कवच पोलादी असते व त्यातल्या काही भागात तरी तपमान १४५०° सें. पर्यंत जाते. ह्या उष्णतामानाला ते कवच टिकणारच नाही, वितळूनसुद्धा जाईल. ह्यापेक्षा कमी उष्णतामानाच्या भागातसुद्धा पोलादाचे सामर्थ्य कमी होऊन कवचाचा आकार बदलेल, तसेच पृष्ठभागाचे ऑक्सिडीकरण होऊन सारा वेळ मालाच्या घर्षणामुळे गंजाचा जुना थर निघून जाऊन झीज होईल. म्हणून कवचाच्या आतल्या बाजूवर चक्री भट्टीच्या सबंध लांबीभर १५ ते २० सें. मी. जाडीच्या अग्निजित विटांचा थर बांधतात. सर्वांत जास्त तपमानाचा भाग सोडला तर या विटांची फार झीज होत नाही. जास्त तपमानाच्या भागामध्ये भाजला जाणारा माल काही अंशी द्रवरूप होतो व कौशल्यवान ज्वलन-तंत्रज्ञ ह्या मालाचा ५० ते ७५ मि. मी. जाडीचा लेप विटांवर भट्टी सुरू झाल्यावर तयार करतो. या थरामुळे अग्निजित विटा फार लवकर झिजत नाहीत.

जेव्हा ह्यातल्या काही विटा जास्त झिजून त्यांची जाडी कमी होते तेव्हा त्या बाहेरील कवचाचा भाग जास्त गरम होऊन रात्रीचे अंधारात लाल प्रकाश देऊ लागतो.



छायाचित्र ६ : खंगर दळण्याची चक्की व ती थंड ठेवण्यासाठी पाण्याचा फवारा.

ही परिस्थिती आली की चक्री भट्टी बंद करून या भागात अग्निजित विटांचे नवीन अस्तर लावण्याची वेळ झाली असे समजतात.

चक्री भट्टी आपल्या आकारमानाप्रमाणे दर दिवशी ४००० टनांपर्यंतसुद्धा खंगराचे उत्पादन करू शकते. परंतु एवढ्या मोठ्या कार्यक्षमतेच्या चक्री भट्ट्या आकारानेसुद्धा अर्थात अजस्त्रच असतात. अशा चक्री भट्ट्यांचे चित्याकृती भाग त्यांच्या कारखान्यात एकदा तयार केले म्हणजे तेथून ते जिथे सिमेंटचा कारखाना उभारणे असेल त्या दूर जागी वाहून नेणे मोठेच जिकिरीचे काम. म्हणून भारतात सर्वसाधारण-पणे प्रतिदिनी जास्तीत जास्त ६०० टन खंगर देणाऱ्या चक्री भट्ट्यांचे उत्पादन करू लागले. जथे सिमेंटचे उत्पादन जास्त करणे असेल तेथे दोन किंवा अधिक चक्री भट्ट्या शेजारीशेजारी उभारतात. (छायाचित्र १) ६०० टन उत्पादन देणाऱ्या चक्री भट्ट्यांचे कवचाचे भाग आगगाडीने नेण्याकरितासुद्धा वाटेत काही ठिकाणी येणाऱ्या व जाणाऱ्या आगगाड्यांच्या शेजारच्या लोहमार्गातले अंतर भारतात वाढवून घ्यावे लागले, तर काही ठिकाणी लोहमार्गाशेजारच्या सिग्नलांचे खांब जरा दूर करून घ्यावे लागले. आता भारतात प्रतिदिनी १००० ते १२०० टन खंगर देणाऱ्या चक्री भट्ट्यांचे उत्पादन होऊ लागले आहे.

चक्री भट्टीतून बाहेर पडलेल्या व तपमान खाली आणलेल्या गरम खंगराचे ढीग साठवून ठेवतात व तो पुरा थंड झाल्यावर किमान ४–७ दिवसांनंतर त्यात सुमारे ५ टक्के जिप्समचा ($CaSO_4, 2H_2O$) दगड घालून तो दळला की पोर्टलंड सिमेंटचे चूर्ण बनते. हे सिमेंट साधारणपणे पोत्यांमध्ये भरून बाहेर विक्रीला पाठवतात. सिमेंटच्या चक्कीमध्ये तपमान वाढले तर जिप्समच्या निर्जलीकरणाचा धोका संभवतो. म्हणून चक्कीवर बाहेरून पाण्याचा फवारा सोडलेला असतो. (छायाचित्र ६ पृ. क्र. १७) तसेच एका पद्धतीत चक्कीमध्येच पाण्याचा बारीक तुषारांचा फवारा सोडतात व त्याचे बाष्पीभवन होऊन चक्कीमधले तपमान कमी होते.

सिमेंटमध्ये जिप्समची पूड असणे उपयुक्त व महत्त्वाचे आहे व सिमेंटच्या रासायनिक पृथक्करणात SO_3 चे प्रमाण जास्तीत जास्त २.७५ टक्के इतके असते. भारतात जिप्समचा दगड अशुद्ध अवस्थेत मिळतो. त्यात सुमारे फक्त ८० टक्के $CaSO_4, 2H_2O$ असते, व हा अशुद्ध दगड सर्वसाधारणपणे ४–६ टक्केपर्यंत खंगराबरोबर मिसळून दळतात.

० ० ० ० ०

कारखान्यात कच्च्या द्रव्यांचे मिश्रणाचे चूर्ण करून जो माल चक्री भट्टीत घालतात त्याच्या रासायनिक पृथक्करणाबद्दल काही बंधने पाळावी लागतात. त्याकरिता कच्च्या द्रव्यांच्या मिश्रण-चूर्णाचे रासायनिक पृथक्करण करतात व पुढील बाबींकडे लक्ष देतात :

$$\text{१) चुना तृप्ती गुणपद} = \frac{CaO}{2.8\ SiO_2 + 1.2Al_2O_3 + 0.65Fe_2O_3}$$

सिमेंटच्या खंगरात सर्व प्रमुख संयुगे कॅल्शम ऑक्साइडची इतर तीन ऑक्साइड्स म्हणजे SiO_2, Al_2O_3 व Fe_2O_3 यांचेशी झालेली असतात. आपणाला हवी ती जलसंयोगी संयुगे मिळण्यास हे गुणपद कमीत कमी साधारणतः ०.८० इतके हवे. ०.८० चे वर जितके हे गुणपद जास्त असेल त्या प्रमाणात सिमेंट खंगरात त्रि-कॅल्शम सिलिकेट ह्या संयुगाचे प्रमाण वाढून सिमेंट त्या प्रमाणात जलद जलसंयोगी होईल. ह्या गुणपदाचे मूल्य १.०२ पर्यंत वाढविलेले चालू शकते. परंतु जेवढे हे गुणपदाचे मूल्य जास्त तेवढा १४५०° सें. तपमानाला कच्च्या मालाचे संयोगीकरणाला उशीर लागतो. म्हणून त्याकरिता कच्च्या मालाचे चूर्ण अधिक बारीक दळावे लागते. संयोगीकरण पूर्ण न झाल्यास खंगरामध्ये CaO स्वतंत्र अवस्थेत जास्ती प्रमाणात राहील (व त्रि-कॅल्शम सिलिकेटचे प्रमाण कमी होईल). ह्या स्वतंत्र CaO चे प्रमाण फार वाढल्यास ते सिमेंटच्या गुणधर्मांना अहितकारक ठरते.

इंधनासाठी कोळशाचा वापर करणे असल्यास कोळसा जाळल्यावर जी राख उरते ती राख ह्या मालाबरोबर मिसळून संयोगीकरणात सहभागी होते. ह्या राखेचे कच्च्या मालाशी प्रमाण ५ टक्के पर्यंत असू शकते. (भारतामध्ये सिमेंट तयार करण्यास 'ब' प्रतीचाच कोळसा वापरण्याची परवानगी आहे. 'ब' प्रतीच्या कोळशात राखेचे प्रमाण २० टक्के चे वर असते.) म्हणून राखेचे रासायनिक पृथक्करण पाहून ही राख काही विशिष्ट प्रमाणात मिसळली जाणार हे धरूनच त्याप्रमाणे कच्च्या मालाची रासायनिक घटना ठरवितात.

$$\text{२) सिलिका गुणांक} = \frac{SiO_2}{Al_2O_3 + Fe_2O_3}$$

हा गुणांक साधारणपणे २.० ते ३.० पर्यंत ठेवतात. जितके गुणांकाचे मूल्य जास्त, तितके कच्च्या मालात $Al_2O_3 + Fe_2O_3$ चे प्रमाण कमी, म्हणजेच भट्टीतल्या अगदी वरच्या तपमानाला द्रवाचे प्रमाण कमी व मालाचे संयोगीकरण जास्त अवघड. तसेच कच्च्या मालात SiO_2 जर मातीच्या स्वरूपात Al_2O_3 शी संयोगीत असेल तर १४५०° सें. ला संयोगीकरण सुलभ होते. SiO_2 जर स्वतंत्र

अवस्थेत गारेच्या स्वरूपात असेल तर संयोगीकरण अवघड होईल. संयोगीकरणाला मदत होण्यासाठी मालाचे चूर्ण जास्त बारीक दळणे आणि / किंवा सिलिका गुणांकाचे मूल्य कमी ठेवणे हे पर्याय राहतात.

३) $\frac{Al_2O_3}{Fe_2O_3}$ गुणोत्तर

ह्या गुणोत्तराचे मूल्य साधारणपणे १.६ ते २.० पर्यंत ठेवतात. जेवढे मूल्य कमी तेवढे भट्टीमध्ये संयोगीकरण सुलभ. सिमेंटच्या एका विशेष प्रकारात, म्हणजे पांढऱ्या सिमेंटमध्ये ह्या गुणोत्तराचे मूल्य फार जास्त असते. ह्या उलट विशेष सल्फेट-रोधक किंवा तेलाच्या विहिरींना वापरण्याच्या सिमेंटमध्ये ह्या गुणोत्तराचे मूल्य कमी असते व अशा वेळी भट्टीमध्ये मालाचे विशोधकीकरण वा द्रवीकरण झटकन व जास्त प्रमाणात होऊ शकते. त्यामुळे आता भट्टी तपमानाच्या छोट्या आवाक्यातच चालवावी लागते.

० ० ० ० ०

आता आपण रोज ६०० टन खंगर भाजून तयार करणारी एक चक्री भट्टी असलेल्या सिमेंटच्या (ओल्या पद्धतीच्या) कारखान्याचा विचार करू या. (आकृती क्र. २–१ व २–२ पान क्र. २१ व २२) त्याकरिता रोज सरासरी कराव्या लागणाऱ्या खालील गोष्टी प्रामुख्याने लक्षात येतील :

(१) ९३० टन कच्च्या मालाचे (चुनखडक व मृण्मय पदार्थ) उत्खनन, सिमेंटच्या कारखान्यात आयात व दळण.

(२) २०० टनाहून अधिक कोळशाची आयात, वाळवण व वाळवलेल्या २०० टन कोळशाचे दळण.

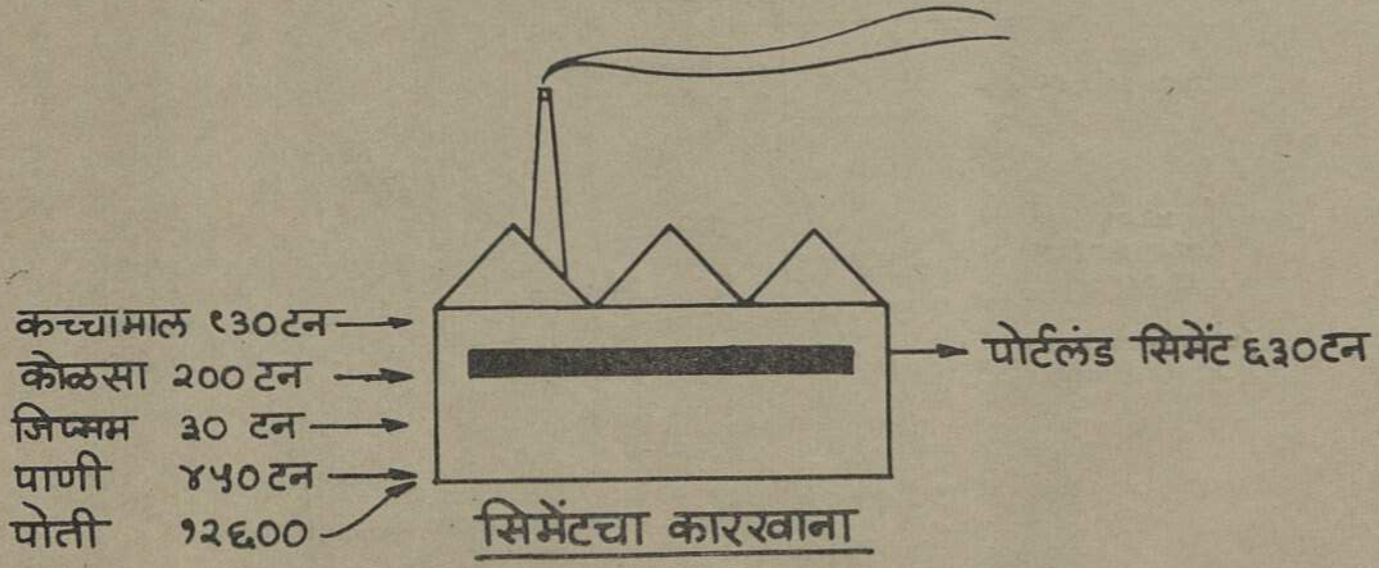
(३) ९३० टन कच्च्या मालाच्या ४५० टन पाण्याबरोबर केलेल्या राळ्याचे भाजण.

(४) ३० टन जिप्समची आयात व ६०० टन खंगराबरोबर दळण.

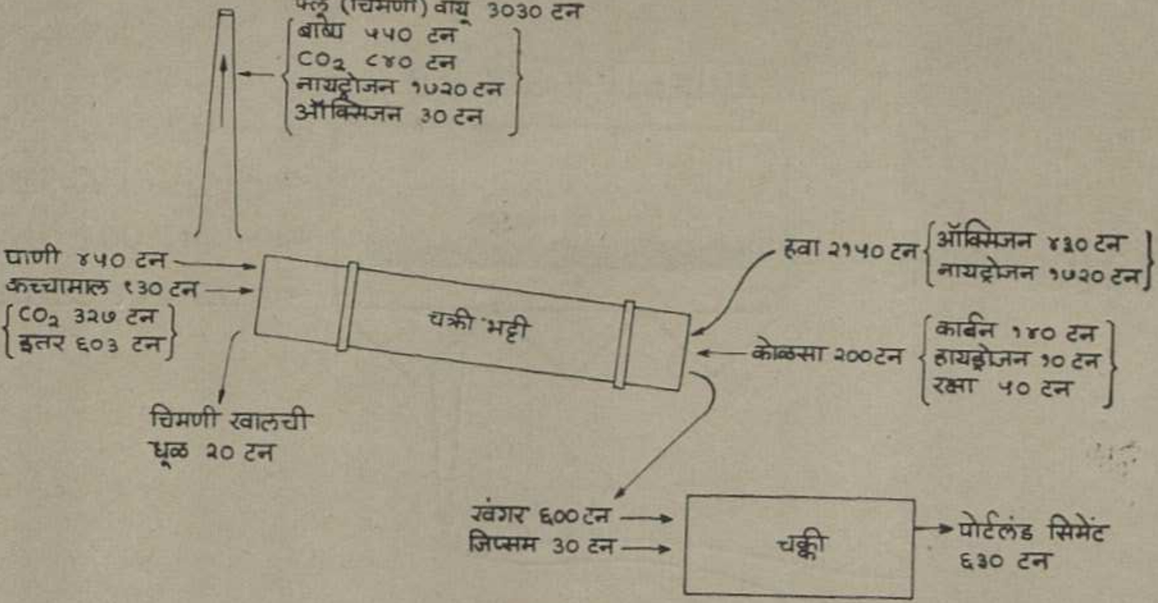
(५) सुमारे १२६० पोत्यांची परीक्षा, सिमेंट भरून वजन, मुखाचे शिवण व ६३० टन सिमेंटची निर्यात.

(६) २० टन चिमणीखालच्या धुळीची विल्हेवाट.

रोज ६३० टन सिमेंटचे उत्पादन करू शकणाऱ्या लहान ते मध्यम आकाराच्या कारखान्यात किती तऱ्हेची मालाची प्रचंड उलाढाल करावी लागते हे यावरून लक्षात


कच्चामाल ९३०टन
कोळसा २०० टन
जिप्सम ३० टन
पाणी ४५०टन
पोती १२६००
पोर्टलंड सिमेंट ६३०टन
सिमेंटचा कारखाना

आकृती २-१


फ्लू (चिमणी) वायू 3030 टन
बाष्प ५५० टन
CO_2 ८४० टन
नायट्रोजन १७२० टन
ऑक्सिजन 30 टन
पाणी ४५० टन
कच्चामाल ९30 टन
CO_2 ३२७ टन
इतर ६०३ टन
चक्री भट्टी
चिमणी खालची
धूळ २० टन
हवा २१५० टन
ऑक्सिजन ४३० टन
नायट्रोजन १७२० टन
कोळसा २००टन
कार्बन १४० टन
हायड्रोजन १० टन
रक्षा ५० टन
खंगर ६००टन
जिप्सम 30 टन
चक्की
पोर्टलंड सिमेंट
६३० टन

आकृती २–२

येईल. शिवाय,हा सगळा माल खाणीपासून आणून पुढे त्याचे तयार सिमेंट कारखान्या-बाहेर जाईपर्यंत १५ ते ३० वेळा एका यंत्रापासून दुसऱ्या यंत्राकडे, ढिगाकडे, किंवा कणगीकडे हलवावा लागतो.

० ० ० ० ०

आपण पाहिलेच की सिमेंट खंगर तयार करण्याच्या ओल्या पद्धतीत कच्च्या मालाच्या चूर्णाचा राळा बनवून हा राळा चक्री भट्टीत ओतत राहतात. राळयामध्ये वजनी सुमारे ३३–४० टक्के पाणी असते व या सगळया पाण्याचे भट्टीत बाष्पीभवन करण्यामध्ये बरेच इंधन खर्ची पडते. म्हणून या पद्धतीत दर कि. ग्रॅम खंगर तयार करण्याला इंधनापासून कमीतकमी सुमारे १२५० कि. कॅलरी उष्णतेची जरुरी असते.

राळयामध्ये जेवढे पाणी कमी तेवढा इंधनाचा खर्च कमी. राळयातल्या पाण्यात सोडियम कार्बोनेट (Na_2CO_3), सल्फाइट खारवणी वगैरे पदार्थांचे विद्रवण केल्यास राळयाची विष्यंदिता बरीच कमी होते. यामुळे ४–६ टक्के पाणी कमी वापरूनसुद्धा राळा प्रवाही राहू शकतो. परंतु बरेच वेळा पाण्याच्या व तद्‌भूत इंधनाच्या बचतीपेक्षा विष्यंदिता कमी करावयाला लागणाऱ्या पदार्थांची किंमतच जास्त होऊ शकते ! दुसरे म्हणजे काही काही कच्च्या मालांचे राळयांच्या बाबतीत कणगीमध्ये राळा काही दिवस तसाच ठेवावा लागल्यास ही कमी केलेली विष्यंदिता वाढत जाऊन राळा काही प्रमाणात अप्रवाही होण्याचा संभव असतो.

सिमेंटची ओली पद्धत प्रथम उपयोगात आली. कारण कच्च्या मालांच्या चूर्णांचे एकसंध मिश्रण राळयाच्याच स्वरूपात करणे त्यावेळच्या तांत्रिक ज्ञानाप्रमाणे सोयीस्कर होते व कोरडया चूर्णाचे मिश्रण संकोचित हवेने करण्याची हल्लीची पद्धत त्या वेळी विकसित झाली नव्हती.

इंधनाच्या बचतीसाठी कच्च्या मालाच्या चूर्णाची पाण्याची गरज कमी करण्या-कडे अर्थातच बऱ्याच तंत्रज्ञ संशोधकांची विचारचक्रे चालू होती. त्यातूनच अर्ध-सुकी पद्धत विकसित झाली.

अर्ध-सुकी पद्धत

या पद्धतीमध्ये प्रथम कच्च्या मालाचे कोरडे चूर्ण करतात, व नंतर त्यात ८-१५ टक्के पाणी मिसळून त्याच्या यंत्राच्या साहाय्याने गोळया बनवितात. ही गोळया बनविण्याची पद्धत गमतीची आहे. हिच्यात एक भले मोठे थाळीवजा पात्र कललेल्या स्थितीत आपल्या अक्षाभोवती सारा वेळ फिरत असते. पात्रावर मध्याच्या थोडे खाली कच्च्या मालाचे चूर्ण पडत राहते व त्याच्या वरच्या अंगाला योग्य प्रमाणात पाण्याची

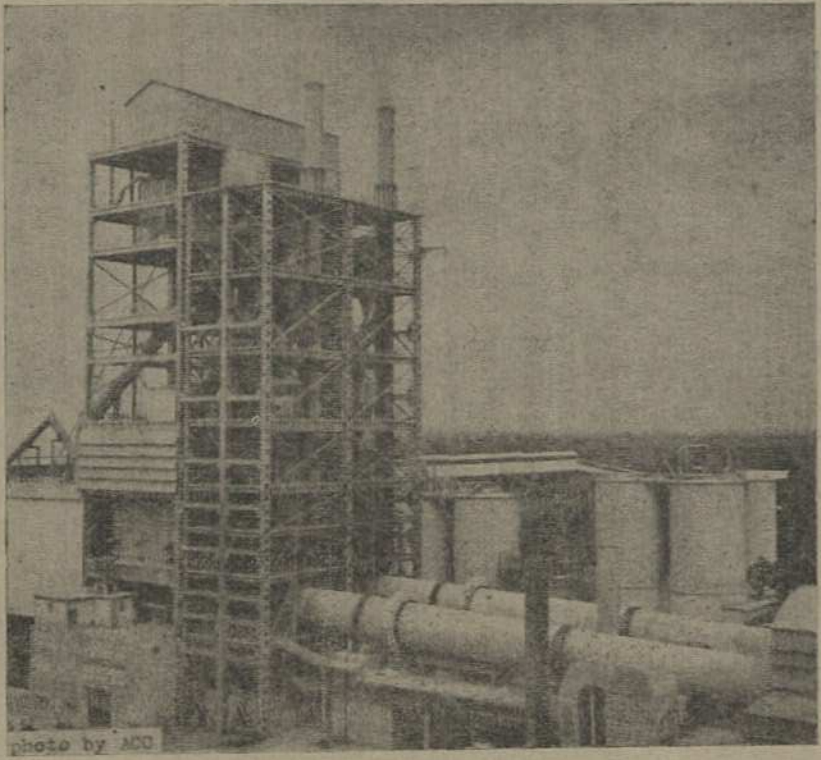
धार सोडलेली असते. पाण्यामुळे चूर्णाच्या गुळया बनू लागतात व त्या गुळया सारा वेळ गोल गोल फिरत राहिल्याने त्यांना नवीन चूर्ण चिकटत राहते व त्यांच्या १५ ते २५ मि. मी. व्यासापर्यंत गोळया तयार होतात. १५ ते २५ मि. मी. व्यासांच्या ह्या गोळया पात्राच्या कडेवरून खाली पडत राहतात.

ह्या गोळया पात्राच्या खालच्या बाजूस साठवल्या जाऊन यांत्रिक पद्धतीने त्यांचा १७५ ते २२५ मि. मी. जाडीचा थर एका फिरत्या "पट्ट्यावर" सोडला जातो. साधारण २–५ मीटर रुंदीचा व २५–५० मीटर लांबीचा हा अखंड "पट्टा" पोलादाच्या जाड व सच्छिद्र पाटांचा बनविलेला असतो. गोळयांचा थर व त्याखालचे सच्छिद्र पाट यांमधून गरम हवा ओढून घेऊन हे गोळे तापविले जातात व नंतर चक्री भट्टीत ओतले जातात. चक्री भट्टीत पडणाऱ्या गोळयांचे तपमान आधीच बरचे (सुमारे ८००° सें.) असल्यामुळे चक्री भट्टीची लांबी ओल्या पद्धतीपेक्षा पुष्कळ कमी पुरते. चक्री भट्टीतून बाहेर येणाऱ्या गरम वायूंचा उपयोग हे गोळे गरम करण्याकडे होतो.

त्याकरिता वर उल्लेख केलेल्या फिरत्या सच्छिद्र पट्ट्यावर कच्च्या मालाच्या गोळयांचा थर पसरला की, हा थर प्रथम क्रमांकाच्या चेंबरमध्ये जातो. या चेंबरमध्ये सुमारे ३००° सें. तपमानाच्या वायूशी यांचा संपर्क येतो व हा वायू गोळयांच्या थरामधून शोषला जातो. त्यामुळे हे गोळे सुकून त्यांचे तपमान कमाल ३००° सें. पर्यंत वाढते व थरामधून खाली ओढलेल्या वायूचे तपमान सुमारे ९००° ते ११५° सें. पर्यंत कमी होते. या वायूतले धुळीचे कण वेगळे करून वायू हवेत सोडला जातो. पहिल्या चेंबरच्या वरच्या अंगाचा ३००° सें. तपमानाचा वायू दुसऱ्या चेंबरच्या खालच्या अंगाकडून घेतलेला असतो.

गोळयांचा थर जेव्हा पहिल्या चेंबरमधून दुसऱ्या चेंबरमध्ये जातो, तेव्हा दुसऱ्या चेंबरमध्ये चक्री भट्टीच्या बाहेर आलेल्या ९००° ते १०००° सें. तपमानाच्या वायूशी याचा संपर्क येतो. त्यामुळे गोळयांचे तपमान सुमारे ८००° ते ८५०° सें. तपमानापर्यंत चढून त्यातला CO_2 वायू काही हिश्शांनी बाहेर पडतो. तसेच वरील थरातून ओढल्या गेलेल्या वायूचे तपमान खाली येते व वायू प्रथम क्रमांकाच्या चेंबरमध्ये वरचे बाजूला पाठविला जातो.

हे तापलेले गोळे चक्री भट्टीत पडून त्यांचे भाजून खंगरात रूपांतर होणे वगैरे क्रिया ओल्या पद्धतीप्रमाणेच होतात. कच्च्या मालात जर अल्क जास्त असतील तर सच्छिद्र पाटांतली भोके बुजली जाण्याचा संभव असतो. ह्या पद्धतीत दर किलोग्रॅम खंगराला फक्त ८५० ते ९५० किलो कॅलरी इतकी उष्णता पुरते व इंधनाचा खर्च बराच वाचतो. परंतु ह्या सच्छिद्र पूर्वतापकाला भांडवली खर्च फार पडतो. म्हणून आता नवीन कारखान्यात पूर्ण सुकी पद्धत वापरतात.



छायाचित्र ७ : बावटळी पूर्वतापकांचे संच व त्याखालच्या चक्री भट्ट्या.

सुकी पद्धत

कोरडे चूर्ण यंत्राचे साहाय्याने मिसळून एकविध करण्याची सामग्री विकसित झाल्यावर कोरडे चूर्ण सरळ लांब चक्री भट्टीत घालण्याची 'सुकी' पद्धत उपयोगात आणली गेली. यापुढची सुक्या पद्धतीतली विशेष प्रगती म्हणजे उष्णतेच्या देवाण-घेवाणीच्या बाबतीत जास्त क्षमतेच्या "वावटळी पूर्वतापकांचा" उपयोग ही होय.

या वावटळी पूर्वतापकांचा आकार वरच्या अंगाला चित्याकृती व खालच्या अंगाला शंकूप्रमाणे निमुळता होत गेलेला असतो. आता जास्त तपमानाच्या वायूच्या झोताचा कमी तपमान असलेल्या कोरड्या चूर्णाशी संपर्क आला तर वायूबरोबर हे चूर्ण ओढले जाईल. त्याच वेळी वायू आपली काही उष्णता चूर्णाला देईल व दोघांचे तपमान एकसारखे होऊ लागेल; म्हणजेच वायू थंड होऊ लागेल व चूर्ण गरम होईल.

आता हा चूर्णमिश्रित वायूचा झोत जर वावटळी पूर्वतापकाच्या आत चित्याकृती भागाच्या बाजूवर स्पर्शदिशेने आडवा सोडला तर चूर्णाच्या कणांचा वेग एकदम कमी होऊन हे कण पूर्वतापकाच्या बाजूवरून घरंगळत खाली घसरून खालच्या शंकूच्या तोंडातून बाहेर पडतील आणि वायूपासून अलग होतील. त्याचबरोबर वायू पूर्वतापकाच्या वरच्या तोंडाने बाहेर पडेल.

सुक्या पद्धतीमध्ये एकानंतर एक अशी ओळीने तीन किंवा चार वावटळी पूर्वतापक व चूर्णकणांचे वायूपासून पृथक्करण करणारी यंत्रे बसविलेली असतात. (छायाचित्र ७– पान क्र. २५). इथे कच्च्या मालाचे चूर्ण क्रमांक एकपासून चारपर्यंत ओळीने चारही पूर्वतापकामधून जाते व त्याचे तपमान ८५०° सें. पर्यंत वाढून त्यातला सुमारे ४० टक्के CO_2 वायू निघून जातो. ह्यापुढे हे चूर्ण चक्री भट्टीत पुढील खंगरीकरणाच्या क्रिया होण्यासाठी जाते. चक्री भट्टीतून बाहेर पडणारा गरम वायू उलट्या क्रमांकाने– म्हणजे क्रमांक ४ पासून १ पर्यंत–वावटळी यंत्रातून निघतो. दर वेळी तो आपली उष्णता चूर्णाला देऊन थंड होत राहतो. क्रमांक एकच्या वावटळी यंत्रातून बाहेर पडणाऱ्या सुमारे ३५०° सें. तपमानाच्या वायूतली धूळ विद्युत्स्थितिक निक्षेपकाने काढून घेऊन हा वायू हवेत सोडतात.

वावटळी पूर्वतापकांच्या सुक्या पद्धतीमध्येसुद्धा दर किलोग्रॅम खंगरामागे ७५०–९०० कि. कॅलरी इतकीच उष्णता पुरते. परंतु यात वापरण्यात यावयाच्या कच्च्या मालात अल्क, सल्फेट्स व विशेषतः क्लोराइड्स जास्त असल्यास यांच्या संयुगांचे थर वावटळी यंत्रांच्या तोंडावर बसून ती तोंडे एकसारखी बुजत राहतात. म्हणून अशा कच्च्या मालाला मात्र ही पद्धत उपयोगाची नाही.

० ० ० ० ०

सिमेंट तयार करण्यासाठी लागणाऱ्या यंत्रांबाबत संशोधन करून त्या कारखानदारीमध्ये सुधारणा करून उत्पादन खर्च कसा कमी करता येईल याबद्दल तंत्रज्ञांचे प्रयत्न चालूच आहेत. याबद्दलच्या एकदोन प्रयत्नांचा उल्लेख चित्तवेधक ठरावा.

वरील वावटळी पूर्वतापक यंत्रांच्या सुक्या पद्धतीमध्ये एका जपानी कंपनीने आमूलाग्र सुधारणा केल्याचा शोध जाहीर केला आहे. या नवीन प्रकारात वरून तिसऱ्या वावटळी पूर्वतापकातून बाहेर पडलेल्या गरम चूर्णाचा प्रवाह एका बाजूला एका मोठ्या चित्याकृती कणगीत घेतात. या कणगीच्या जमिनीत सच्छिद्र अग्निजित फरश्या बसवल्या असून त्यामधून गरम वायूचे झोत सोडलेले असतात. म्हणून मालाच्या चूर्णाचा स्तर फरशीवर गच्च न बसता कणगीत सारा वेळ प्रवाही राहतो व शेवटी हे चूर्ण परत चौथ्या वावटळी पूर्वतापक यंत्रात जाऊन चक्री भट्टीत उतरते. परंतु आता मात्र त्यातला ९०–९५ टक्के CO_2 वायू बाहेर पडलेला असतो. यामुळे चक्री भट्टीतल्या प्रक्रिया जलद पुऱ्या होतात. ह्या शोधाबद्दल त्या जपानी कंपनीचे असे म्हणणे आहे, की हल्लीच्या चालू कारखान्यांमध्ये तिसऱ्या व चौथ्या वावटळी यंत्रांमध्ये वरीलप्रमाणे प्रवाही पूर्वतापकाची सोय केली तर चक्री भट्टीपासून सिमेंट खंगराचे उत्पादन २०–२५ टक्क्यांनी वाढेल. तसेच नवीन कारखाना उभारणे असेल तर त्यात वरील प्रवाही पूर्वतापकाचीसुद्धा बरोबर योजना व रचना केल्यास त्यामुळे भांडवली खर्चात फार जास्त वाढ न होता सिमेंटचे उत्पादन बरेच वाढेल. भांडवली खर्चात वाढ होणार नाही कारण ह्या जास्तीच्या उत्पादनाला चक्री भट्टीचे आकारमान व त्यावरील खर्च वाढवावा लागणार नाही.

सिमेंट कारखान्याला सध्या आवश्यक असलेल्या चक्री भट्टीला काही इतर पर्याय आहेत काय इकडे शास्त्रज्ञांचे सारा वेळ लक्ष आहे. एका अमेरिकन कंपनीने चक्री भट्टी न वापरता वर उल्लेख केलेल्या तऱ्हेच्या पण प्रचंड चित्याकृती खोलीच्या सच्छिद्र फरशीतून गरम वारे सोडून व चूर्णाचे प्रवाही स्तर बनवून सर्व रासायनिक विक्रिया पूर्ण करण्याबद्दल लक्षावधी रुपये खर्च करून संशोधन केले, पण शेवटी दुर्दैवाने ते अशा निर्णयाला येऊन पोचले, की तांत्रिकदृष्ट्या ह्या तऱ्हेने उत्पादन शक्य आहे; पण अर्थशास्त्रीयदृष्ट्या ही पद्धत महागडी व म्हणून सध्यातरी निरुपयोगी आहे.

चक्री भट्टीला पर्याय म्हणून काही ऑस्ट्रेलियन तंत्रज्ञ-संशोधकांचे परत उभ्या भट्टीकडे लक्ष गेले आहे. या उभ्या भट्टीचे पुरेसे यांत्रिकीकरण केले व हिला पुरेसे स्वयंचलित नियामक बसवले तर दररोज २५०–५०० टन खंगराचे उत्पादन

देणाऱ्या ह्या उभ्या भट्ट्या अर्थशास्त्रीयदृष्ट्या फलदायी होतील असा त्यांचा कयास आहे.

० ० ० ० ०

आपण पाहिलेच आहे की सिमेंटच्या दर १००० टन कच्च्या मालापैकी सुमारे ३५० टन CO_2 वायू चक्री भट्टीत उडून जाऊन ६५० टनच भाजलेला खंगर मिळतो. ह्या खंगराबरोबर सुमारे ५–६ टक्के जिप्समचा दगड मिसळून दळल्यावर साधारण ६८० टन सिमेंट मिळते.

ह्याचा अर्थ सिमेंटचा कारखाना चुनखडकाच्या खाणीजवळच हवा. सिमेंटच्या मागणीच्या ठिकाणी– मोठ्या शहरात वगैरे– कारखाना काढल्यास चुनखडीचा खडक व त्यातला CO_2 टनावारी उगीचच खाणीपासून, कारखान्यापर्यंत नेणे भाग पडून त्याला आणणावळीचा खर्च जादा पडेल.

आता क्वचित सिमेंटच्या कारखान्यात भाजलेला खंगर तिथल्यातिथेच न दळता सिमेंटच्या मागणीच्या ठिकाणी जशाचा तसा नेऊन तिथे तो दळण्याचा कारखाना उभारतात. मुंबईला असा एक कारखाना आहे. ह्याचा तोटा असा, की एका कारखान्याचे दोन भाग करून ते दोन ठिकाणी उभारावे लागतात. पण महत्त्वाचा फायदा असा की, सिमेंटच्या वाहतुकीपेक्षा खंगराची वाहतूक सोपी असते. विशेषतः पावसाळ्यात खंगर चुकून भिजला तरी तो फारसा खराब होत नाही. ह्या उलट सिमेंटचे चूर्ण जर भिजले तर त्याची शिळा बनून नुकसान होणे अटळ आहे.

शेवटी एक यक्षप्रश्न ! आपल्याला पोलादाच्या जंगी कारखान्यांबद्दल ऐकून माहिती आहेच– जमशेदपूर, बर्नपूर, भिलाई, दुर्गापूर, राउरकेला, बोखारो येथले. तरी पण मुंबईला व इतर ठिकाणी मिनी-पोलादकारखाने निघाले व निघत आहेतच. तसेच मिनी-सिमेंट-कारखाने निघणे संयुक्तिक आहे काय ? शक्य आहे काय ?

ह्या प्रश्नांची उत्तरे 'होय' व 'नाही' अशी दोन्हीही असू शकतील. तशा रोजी ४०–६० टन खंगर देणाऱ्या उभ्या (मिनी) भट्ट्यांचे प्रयोग भारतात एक-दोन ठिकाणी झाले आहेत. परंतु शेवटी, कारखाना– मॅक्सी असो किंवा मिनी असो– म्हणजे एक साधन आहे. त्याचे आकारमान, रचना वगैरे आपणाला त्यायोगे काय साधणे आहे यावर अवलंबून आहे.

अर्थशास्त्रीयदृष्ट्या सिमेंटचे मिनी कारखाने नक्कीच किफायतशीर ठरणार नाहीत. परंतु विकेंद्रीकरण, लोकांना ठिकठिकाणी अर्थार्जनाचे साधन, भारताच्या उत्तर व ईशान्य भागातल्या डोंगराळ प्रदेशात उत्पादन (जेथे वाहतुकीच्या अडचणी

मुळे मोठा कारखाना उभारणे इष्ट/शक्य नाही), वगैरे विविध सामाजिक वा राजकीय कारणांमुळे सिमेंटचे मिनी कारखाने काही विशिष्ट परिस्थितीत इष्ट ठरू शकतील.

आज भारतात पोलादाचे मिनी कारखाने आहेत व नवीन निघत आहेत, परंतु सिमेंटचा एकही मिनी कारखाना नाही याची कारणे या दोन्ही पदार्थांच्या बाबतीतल्या दोन फरकांमध्ये मिळू शकतील.

पहिला फरक म्हणजे दोन्हींच्या किमतीतला फरक. पोलादाची किंमत सिमेंटच्या किमतीच्या पाचपट आहे. म्हणजेच रोजी ६० टन पोलाद देणाऱ्या कारखान्याचे अर्थाजन ६० टन सिमेंट देणाऱ्या कारखान्यापेक्षा पाचपट आहे. म्हणजेच, जेवढी पदार्थाची किंमत जास्त तेवढेच लहान प्रमाणात त्याचे उत्पादन चालू ठेवणे शक्य होते.

दुसरा फरक म्हणजे पोलादाच्या मिनी कारखान्याजवळ लोहधातुपाषाणाची खाण नसली तरी पोलादाच्या जुन्या, नाकाम तुकड्यांपासून नवीन पोलादाचे उत्पादन करतात. ह्याउलट जिथे सिमेंटच्या उत्पादनाला जवळ कच्चे द्रव्य नाही तेथे सिमेंटच्या जुन्या शिळा वापरणे शक्य नाही. कारण सिमेंट जसेच्या तसे– म्हणजे वाळू किंवा वाळू व दगडाचे तुकडे न मिसळता– कधीच वापरत नाहीत. ते मॉर्टर वा काँक्रीट या स्वरूपातच वापरले जाते व जुन्या मॉर्टर वा काँक्रीटच्या शिळांमधून जलसंयोग झालेले सिमेंट पुनर्प्रक्रियेला वेगळे करणे शक्य नाही.

म्हणजेच जेथे चुनखडकाची खाण नाही किंवा दुसऱ्या एखाद्या कारखान्यातून उपफल म्हणून $CaCO_3$ मिळत नाही, तेथे मिनी– किंवा मोठासुद्धा कारखाना चालणे कठीणच. कारण दूर अंतरावरून सरासरी रोज १०० टन चुनखडक आणला तर त्यातून उत्पादनाच्या वेळी ३५ टन CO_2 वायू उडून जाणार, म्हणजे दर ६५ टन मालाबरोबर ३५ टन CO_2 वायूच्या वाहतुकीचा खर्च सिमेंटच्या उत्पादनावर पडणार !

चुन्याचा चिखल ($CaCO_3$) उपफलाच्या स्वरूपात काही खतांच्या कारखान्यात, उदा०– सिंद्रीला, मिळतो. पण सिंद्रीचा खत कारखानाच एवढा मोठा आहे की त्याचा उपफल म्हणून मिळणारा चुन्याचा चिखल वापरून एक सिमेंटचा मोठा कारखाना आज अनेक वर्षे चालला आहे.

म्हणजे सिमेंटच्या खंगराचे एका मोठ्या कारखान्यात उत्पादन करून पुढे तो वेगवेगळ्या ठिकाणी लहान चक्क्यांवर दळण्यास पाठविणे त्यामानाने कमी तोट्याचे होईल. परंतु मग सिमेंट दळणाऱ्या प्रत्येक चक्कीजवळ दळलेले सिमेंट तपासण्याकरिता एक लहान प्रयोगशाळा असणे जरूर आहे. कारण त्याशिवाय सिमेंटचा दर्जा कायम चांगला राखणे शक्य होणार नाही.

ह्यापुढील प्रकरणात आपण सिमेंटच्या बाबतच्या परीक्षा पद्धतींचा विचार करणार आहोत.

प्रकरण ३

रासायनिक घटना व तिचा वास्तविक गुणधर्मांशी कार्यकारणभाव आणि पोर्टलंड सिमेंटचे प्रकार

एखाद्या सर्वसाधारण पोर्टलंड सिमेंटच्या खंगराचे रासायनिक पृथक्करण पुढील प्रकारचे असेल :

	सर्वसाधारण	उदाहरणार्थ
SiO_2	२०–२५ टक्के	२४ टक्के
Al_2O_2	५–८	६
Fe_2O_3	२–३॥	३
CaO	६३–६८	६५
MgO	१–५	२
	एकूण	१०० टक्के

(यात आपण Na_2O, K_2O वगैरे गौण घटकांचा विचार केलेला नाही. हे गौण घटक खंगरामध्ये सुमारे २ टक्के पर्यंतसुद्धा असू शकतात व त्यांचा सिमेंटच्या गुणधर्मावर थोडाफार परिणामही होऊ शकतो. परंतु यांचा आपण विचार करणार नाही.)

भाजलेल्या खंगरात अर्थात् वरील ऑक्साइड घटक स्वतंत्र अवस्थेत फारसे राहात नाहीत. त्यांची द्वैती व त्रितयी मिश्र–ऑक्साइड संयुगे झालेली असतात. ह्यापैकी मॅग्नेशिआ, MgO मात्र स्वतंत्र अवस्थेतच राहातो, तर ह्याउलट CaOची SiO_2, Al_2O_3 व Fe_2O_3 या तिन्ही ऑक्साइड घटकांशी संयुगे होतात. अर्थात ज्वलनाच्या न्यस्त प्रमाणात CaO चा थोडासा भाग (सुमारे १–२ टक्के CaO) स्वतंत्र अवस्थेतच राहतो. कोणत्याही तऱ्हेच्या कच्च्या मालापासून खंगर बनवला तरी त्याच्या रासायनिक घटनेप्रमाणे त्यात एकाच तऱ्हेची आणि एकाच प्रमाणात मिश्र-ऑक्साइड संयुगे असतील.

यातल्या Fe_2O_3 चे CaO व Al_2O_3 बरोबर एकच त्रितयी मिश्र संयुग आढळते. ते म्हणजे :

$Ca_4Al_2\ Fe_2O_{10} = 4\ CaO.\ Al_2O_3.\ Fe_2O_3 = C_4AF$
(सी–फोर–ए–एफ; चतु: –कॅल्शम अॅल्युमिनो–फेराइट)

ह्यातून उरलेल्या Al_2O_3 चे CaO बरोबर आणखी एक द्वैती मिश्र संयुगे उद्‌भवते :

$Ca_3Al_2O_6 = 3CaO.\ Al_2O_3 = C_3A$ (सी–थ्री–ए; त्रि–कॅल्शम अॅल्यूमिनेट)

उरलेला CaO व SiO_2 यांचे रेणुभार गुणोत्तर २ व ३ यांमध्ये असते, व ते जितके कमीजास्त असेल तितक्या कमीजास्त प्रमाणात पुढील दोन द्वैती मिश्र संयुग आढळतात :

$Ca_2\ SiO_4 = 2CaO.\ SiO_2 = C_2S$ (सी–टू–एस; द्वि–कॅल्शम सिलिकेट)
$Ca_3SiO_5 = 3CaO.SiO_2 = C_3S$ (सी–थ्री–एस; त्रि–कॅल्शम सिलिकेट).

यावरून लक्षात येईल, की खंगरात वा सिमेंटमध्ये C_3S चे प्रमाण जास्त हवे असल्यास कच्च्या मालात CaO चे प्रमाण वाढवणे इष्ट आहे.

या सर्व संयुगांचे टक्केवारी प्रमाण खंगरात किंवा सिमेंटमध्ये किती हे काढण्यासाठी डॉ. बोगनी दिलेल्या पुढील सूत्रांचा उपयोग होतो :

$C_3S = 4.07CaO^* - (7.6\ SiO_2 + 6.72\ Al_2O_3 + 1.43\ Fe_2O_3 + 2.85\ SO_3^{**})$;

$C_2S = 2.87\ SiO_2 - 0.754\ C_3S$;

$C_3A = 2.65\ Al_2O_3 - 1.69\ Fe_2O_3$;

$C_4AF = 3.04\ Fe_2O_3$;

$CaSO_4 = 1.7\ SO_3^{**}$

[* CaO म्हणजे एकूण CaO मधून स्वतंत्र CaO वजा करून;

** सिमेंटबद्दल गणित करताना, किंवा खंगरात SO_3 असेल तर.]

अर्थात् वरील सर्व मिश्र-ऑक्साइड संयुगे अगदी शुद्ध स्वरूपात नसून त्यांचेमध्ये इतर मुख्य व गौण घटक विद्रवलेले असतात. त्यामुळे खंगरातले (वा सिमेंटमधले) मिश्र संयुगांचे प्रत्यक्ष प्रमाण "बोग"च्या सूत्रांपेक्षा थोडे वेगळे असू शकते. तरीसुद्धा बोगच्या वरील सूत्रांचा सिमेंटच्या वास्तविक गुणधर्मांबद्दल विचार करताना निश्चितच उपयोग होतो.

वर उदाहरणादाखल रासायनिक पृथक्करण दिलेल्या खंगरात स्वतंत्र अवस्थेतल्या CaO चे प्रमाण १% धरल्यास बोगच्या सूत्रांप्रमाणे पुढील प्रमाणात मिश्र संयुगे आढळतील :

C_3S	५०%
C_2S	२७
C_3A	११
C_4AF	९
स्वतंत्र CaO	१
स्वतंत्र MgO	२

आता कच्च्या मालातल्या फरकामुळे खंगरात SiO_2 चे प्रमाण १% न वाढल्यास (२४% ऐवजी २५%) व CaO चे प्रमाण १% ने घटल्यास (६५% ऐवजी ६४%) मिश्र संयुगांमध्ये C_3S चे प्रमाण सुमारे ११½% नी घटून C_2S चे प्रमाण तेवढयानेच वाढेल. म्हणजे C_3S ५०% वरून ३८½% वर घसरेल व C_2S २७% वरून ३८½% वर चढेल. यामुळे सिमेंटचे काही वास्तविक गुणधर्म बदलतील. याकरिता कच्च्या मालाच्या मिश्रणाचे रासायनिक पृथक्करण स्थिर ठेवून ते फार बदलू न देणे अत्यावश्यक आहे हे लक्षात येईल.

तसेच भाजताना ज्वलनाचे प्रमाण कमी झाल्यास स्वतंत्र अवस्थेतल्या CaO चे प्रमाण वाढेल. उदाहरणार्थ, आपल्या खंगरात स्वतंत्र CaO १% ऐवजी २½% पर्यंत वाढल्यास पुढील बदल होतील :

स्वतंत्र CaO	१%	२½ %
C_3S	५० ,,	४४ ,,
C_2S	२७ ,,	३१½ ,,

म्हणजेच ज्वलनाचे प्रमाणही स्थिर ठेवणे इष्ट आहे.

० ० ० ० ०

C_3S व C_2S या दोन मिश्र संयुगांपैकी C_3S मध्ये चुन्याचा अंश जास्त आहे, म्हणजेच C_3S हे जास्त अल्कधर्मी आहे. त्यामुळे पाण्याशी संपर्क आल्यावर C_3S चा जलसंयोग C_2S पेक्षा जास्त वेगाने होतो, व ज्या सिमेंटमध्ये C_3S चे प्रमाण जास्त असेल त्यामध्ये दमनबल जास्त लवकर येते.

त्रि-कॅल्शम सिलिकेट, C_3S व द्वि-कॅलशम सिलिकेट, C_2S यांच्या जलसंयोगात पुढील रासायनिक विक्रिया घडतात :

$$2(3CaO.SiO_2) + 6H_2O \rightarrow 3CaO.2SiO_2 3H_2O + 3Ca(OH)_2$$
$$2C_3S + 6H \rightarrow C_3S_2H_3 + 3\,CH$$
१०० भाग (वजनी) + २४भाग → ७५ भाग + ४९ भाग

तसेच,

$$2(2CaO.SiO_2) + 4H_2O \rightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O + Ca(OH)_2$$
$$2C_2S + 4H \rightarrow C_3S_2H_3 + CH$$
१०० भाग + २१ भाग → १०० भाग + २१ भाग

म्हणजे C_3S व C_2S ही दोन्ही संयुगे जवळजवळ एकाच प्रमाणात (१०० : २४ व १०० : २१) पाण्याशी रासायनिक विक्रिया पावतात. आता पोर्टलंड सिमेंटमध्ये $C_3S + C_2S$ चे प्रमाण सुमारे ७०% च्या वर असल्याने कोणत्याही पोर्टलंड सिमेंटला पुऱ्या जलसंयोगासाठी साधारणतः सारख्याच प्रमाणात पाण्याची जरुरी असते.

C_3S व C_2S च्या जलसंयोगामुळे जे सजल कॅल्शम सिलिकेट बनते ($3CaO.2SiO_2.3H_2O$ अथवा $C_3S_2H_3$) त्यानेच सिमेंटला दमनबल वगैरे टणक घन पदार्थाचे गुणधर्म प्राप्त होतात. या सजल कॅल्शम सिलिकेटचे " टोबर्मोराइट " नामक खनिजाशी त्यातल्या अणूंच्या रचनेबाबत साम्य असल्यामुळे व तसेच हे सजल सिलिकेट अस्फटिकी असल्यामुळे याला " टोबर्मोराइट जेल " असे म्हणतात.

C_3S व C_2S यांच्या जलसंयोगामुळे तयार होणारे दुसरे संयुग म्हणजे सजल चुना, $Ca(OH)_2$. याचे स्फटिकीकणांचे आकारमान त्यामानाने मोठे (पण अर्थात् सूक्ष्मच) असते व जलसंयोगानंतर सिमेंटच्या शिळेला सामर्थ्यशाली बनविण्यामध्ये (म्हणजेच टणक घन पदार्थाचे गुणधर्म प्राप्त करून देण्यामध्ये) याचा फार मोठा वाटा नाही.

आपण वर पाहिलेच आहे, की C_3S पेक्षा C_2S च्या जलसंयोगानंतर जास्त प्रमाणात टोबर्मोराइट जेल व कमी प्रमाणात सजल चुना तयार होतात. म्हणूनच ज्या सिमेंटमध्ये C_2S चे प्रमाण जास्त आहे त्याच्या संपूर्ण जलसंयोगानंतर सिमेंटची शिळा जास्त बलवान असेल व तिचे स्थायित्वही जास्त चांगले राहील. परंतु C_2S चा जलसंयोगाचा वेग फारच मंद असल्यामुळे सिमेंटमध्ये काही प्रमाणात C_3S असणे जरूर असते व C_3S चे प्रमाण जितके जास्त, तितका सिमेंट पेस्टच्या दृढीकरणाचा व बलवान होण्याचा वेग जास्त.

खंगरातल्या संयुगांपैकी त्रि-कॅल्शम ॲल्यूमिनेट, C_3A चा पाण्याशी जलसंयोग फार वेगाने होऊ शकतो व त्यामुळे

$$4CaO.Al_2O_3.13H_2O \ (C_4AH_{13})$$

व

$$2CaO.Al_2O_3.8H_2O \ (C_2AH_8)$$

हे सजल कॅल्शम ॲल्यूमिनेट तयार होतात. सिमेंटमध्ये पाणी कालवल्यावर C_3A चा जलसंयोग इतक्या झपाट्याने होऊ शकेल, की सिमेंटच्या पेस्टची विष्यंदिता काही मिनिटांच्या आतच खूप वाढून तिचे एकदम विरजण लागल्याप्रमाणे गठण होईल.

असे घडू नये म्हणून सिमेंटचा खंगर त्यामध्ये जिप्सम $CaSO_4$, $2H_2O$ चा दगड घालूनच नंतर दळतात, आणि त्यामुळेच C_3A च्या जलसंयोगाला आवर बसतो. कारण सिमेंटमध्ये पाणी कालवल्याबरोबर पाण्यामध्ये $CaSO_4$, $2H_2O$ विरघळू लागते, व विरघळलेल्या SO_4^{--} आयनांची C_3A च्या स्फटिककणांच्या पृष्ठभागावर रासायनिक विक्रिया होऊन त्या पृष्ठभागावर एट्रिंगाइट,

$$3CaO.Al_2O_3 .3CaSO_4. 31H_2O$$

(सजल कॅल्शम सल्फो–ॲल्यूमिनेट, हायसल्फो–ॲल्यूमिनेट किंवा त्रि-सल्फेट) या अविद्राव्य संयुगाचा अत्यंत पातळसा थर चढतो. यामुळे C_3A चा पाण्याशी संयोगीकरणाचा वेग नियंत्रित व मर्यादित होतो. कारण आता पाण्याचे रेणू C_3A पर्यंत पोहोचण्याकरिता त्यांना एट्रिंगाइटच्या स्तरामधून आरपार विकीर्ण होणे जरूर आहे. हा विकिरणाचा वेग अर्थात् त्यामानाने मंदच असणार. त्यामुळे C_3A चा जलसंयोग सावकाश गतीने होतो व म्हणूनच पाणी कालवल्यावर सिमेंटच्या पेस्टची विष्यंदिता वाढून तिला घट्टपणा येण्याला सावकाश सुरुवात होते.

सिमेंटच्या पेस्टमध्ये जोवर जिप्सम आहे तोवर पाण्यातून SO_4^{--} आयनांचा पुरवठा चालू राहिल्यामुळे C_3A च्या जलसंयोगातून एट्रिंगाइटच तयार होते. एकदा का जिप्समचा साठा संपला की उरलेल्या C_3A च्या पुढल्या जलसंयोगाला एट्रिंगाइट-मधूनच सल्फेट आयनांचा पुरवठा होतो :

$$2\ (3CaO.\ Al_2O_3) + 3CaO.\ Al_2O_3.\ 3CaSO_4.\ 31H_2O + 5H_2O \rightarrow 3\,(3CaO.\ Al_2O_3.\ CaSO_4.\ 12H_2O)$$

म्हणजेच एट्रिंगाइटचे प्रमाण आता घटत जाऊन

$3CaO.\ Al_2O_3.\ CaSO_4.\ 12H_2O$ (लो सल्फो–ॲल्यूमिनेट किंवा एक सल्फेट) तयार होते. अशा प्रकारे पाणी कालवल्यापासून ४–६ तासांत जिप्समचा साठा संपतो व साधारणतः २४ तासांत प्रथम तयार झालेल्या सर्व एट्रिंगाइटचा साठा संपून जातो.

यानंतरच्या उरलेल्या C_3A च्या जलसंयोगाच्या वेळी पाण्यामध्ये सल्फेट आयन SO_4^{--} शिल्लक राहात नाहीत. परंतु या वेळेपर्यंत C_3S व C_2S च्या

झालेल्या जलसंयोगामुळे तयार झालेला सजल चुना, $Ca(OH)_2$ पाण्यात काही प्रमाणात विद्राव्य असल्याने पाण्यामध्ये हायड्रॉक्सिल, OH^- आयनांचा पुरवठा चालू झालेला असतो. त्याच्या योगाने SO_4^{--} ऐवजी OH^- आयन वापरून पुढील संयुग बनत राहते :

$3CaO.\ Al_2O_3.\ Ca(OH)_2.\ 12H_2O$, म्हणजेच $4CaO.\ Al_2.O_3\ 13H_2O$ किंवा C_4AH_{13}. या संयुगाच्या सूत्राची वरील एक सल्फेटच्या सूत्राशी तुलना केल्यास त्यातले साधर्म्य जाणवते.

C_4AF चा जलसंयोग थोडाफार C_3A च्याच पद्धतीने होतो. परंतु त्याचा जलसंयुक्त सिमेंटच्या शिळेच्या गुणधर्मावर विशेष असा परिणाम होत नाही.

जलसंयोगाचा वेग सर्वांत जास्त C_3A चा, त्या मागाहून C_3S चा व नंतर C_2S चा. C_3A च्या जलसंयोगामुळे पाणी कालवल्यापासून सुमारे १–१।। तासात सिमेंटच्या पेस्टची विभ्यंदिता वाढून ती घट्ट होऊ लागते. त्याबरोबरच C_3S च्या जलसंयोगामुळे सुमारे ६ ते १० तासांत पुरेशी टोबर्मोराइट जेल तयार होऊन सिमेंटला दमनबल प्राप्त होऊ लागते.

सात दिवसांत साधारणपणे ४/५ C_3A व C_4AF चा जलसंयोग झालेला असतो. ह्याच वेळात १/२ हून अधिक C_3S व फक्त १/१० C_2S जलसंयोग पावतात.

पुरेशा प्रमाणात C_2S चा जलसंयोग होण्याला सुमारे महिनाभराचा अवधी लागतो. त्यामुळे सिमेंटचे आधीच्या दिवसांचे दमनबल बहुतांशी C_3S च्या जलसंयोगानेच आलेले असते.

० ० ० ० ०

चुनखडक १०००° सें. तपमानाला भाजून तयार केलेल्या चुनकळीवर आपण जर पाणी टाकले तर CaO चा फार वेगाने जलसंयोग होऊन इतकी उष्णता बाहेर पडते (२७९ कॅलरी दर ग्रॅम CaO ला) की तिच्यामुळे ओतलेले पाणी उकळूसुद्धा शकते. पोर्टलंड सिमेंटमधल्या संयुगांच्यासुद्धा जलसंयोगाने अशीच उष्णता उत्पन्न होते (सुमारे १८० ते ११० कॅलरी दर ग्रॅम सिमेंटला). परंतु सिमेंटमधली संयुगे शुद्ध चुन्याइतकी अल्कधर्मी नसल्याने त्यांची जलसंयोगाची गती नियंत्रित असते. सिमेंटमध्ये पाणी कालवल्यावर ते एकदम गरमागरम होत नाही व सिमेंटच्या उष्णतादायित्वाबद्दल साधारणपणे काळजी करण्याचे कारण नाही.

परंतु जिथे काँक्रीटचा मोठा बंधारा किंवा अशाच प्रकारचे जाड व अवाढव्य बांधकाम करणे असेल तिथे मात्र या जलसंयोगाने उद्भवलेल्या उष्णतेबद्दल खबरदारी

घेणे फार महत्त्वाचे ठरते. कारण अशा बांधकामाचे वेळी दर तासाला टनावारी सिमेंट कॉंक्रीट कालवून जागेवर ओतत रहावे लागते. आता कॉंक्रीट उष्णता दुर्वाहक आहे. त्यामुळे कॉंक्रीटच्या पृष्ठभागाच्या खालच्या आतल्या थरांमध्ये सिमेंटच्या जलसंयोगाने उद्भवलेल्या उष्णतेमुळे कॉंक्रीटचे तपमान नको इतके वाढेल. यायोगे प्रथम कॉंक्रीटचे उष्णीय प्रसरण होईल व त्यामुळे नंतर ओतलेल्या (म्हणूनच पुरेसा दृढपणा न आलेल्या) कॉंक्रीटच्या थरांमध्ये दमन दबावामुळे आकार्य विकृती येईल. कालांतराने उष्ण कॉंक्रीटचे तपमान हळूहळू कमी होताना उष्णीय आकुंचनामुळे त्यावर सर्वत्र ताण बसेल. कॉंक्रीटचे तन्यबल फार नसल्याने ठिकठिकाणी त्याला भेगा पडतील. हा अनर्थ टाळण्यासाठी विविध तऱ्हेची उपाययोजना करता येते :

(अ) बांधकामाची रचना वेगवेगळ्या ठोकळ्यांच्या स्वरूपात करावयाची व ह्या एकमेकांलगत परंतु अलगअलग असलेल्या कॉंक्रीटच्या ठोकळ्यांचे तपमान पूर्ववत् खाली उतरल्यानंतर त्यांच्यामधल्या भेगा ताज्या कॉंक्रीटने भरून घेणे.

(ब) कॉंक्रीट ओततानाच मधे एकमेकांना जोडलेल्या धातूच्या नळ्या बसवून त्यांच्यामधून गार पाणी खेळते ठेवून जलसंयोगी उष्णता शोषून घेणे.

(क) कॉंक्रीट कालवण्याच्या आधी दगड, वाळू, सिमेंट, पाणी ह्या सर्व पदार्थांचे प्रशीतन करून मग वापरणे, म्हणजे जलसंयोगी उष्णतेने तपमान वाढले की ते वातावरणाच्या तपमानाच्या आसपास इतकेच येईल.

(ड) जलसंयोगाची उष्णता कमी असलेले खास अल्पोष्मदायी पोर्टलंड सिमेंट वापरणे. या प्रकारच्या सिमेंटबद्दल माहिती पुढे येईलच.

सर्वसाधारण पोर्टलंड सिमेंटची जलसंयोगी उष्णता दर ग्रॅम सिमेंटमागे सुमारे १०० ते ११० कॅलरी इतकी असते. म्हणजे पाणी कालवल्यापासून सिमेंटचा पुरा जलसंयोग होईपर्यंत जो काही (महिन्यांच्या हिशेबात) कालावधी लागेल, त्या पुऱ्या कालावधीत दर ग्रॅम सिमेंटपासून फारतर ११० कॅलरी एवढी उष्णता उद्भवेल. अर्थात् सिमेंटचा जलसंयोगाचा वेग प्रथम जोराचा असून पुढे तो मंदावत जातो. तेव्हा पहिल्या महिन्यातच ह्यापैकी बरीचशी उष्णता उद्भवून बाहेर फेकली जाते.

पोर्टलंड सिमेंटमधल्या प्रमुख संयुगांची जलसंयोगी उष्णता पुढीलप्रमाणे :

त्रि-कॅल्शम सिलिकेट C_3S,	१२० कॅलरी दर ग्रॅमला
द्वि-कॅल्शम सिलिकेट C_2S,	६२ कॅलरी दर ग्रॅमला
त्रि-कॅल्शम ॲल्यूमिनेट C_3A,	२०७ कॅलरी दर ग्रॅमला
चतुः–कॅल्शम ॲल्यूमिनो–फेराइट C_4AF,	१०० कॅलरी दर ग्रॅमला

ह्यावरून आपल्या लक्षात येईल की साधारणत: ज्या संयुगांचा जलसंयोगाचा वेग जास्त, त्या संयुगांची जलसंयोगी उष्णताही जास्तच.

० ० ० ० ०

आता आपणाला सिमेंट खरीदणे असेल तर त्याचे गुणधर्म काय असतील ? याबाबत भारतीय मानक संस्थेने पोर्टलंड सिमेंटच्या रासायनिक व वास्तविक गुणधर्मांबद्दल व या गुणधर्मांच्या किमान व कमाल मर्यादांबद्दल भारतीय मानक विशिष्टी २६९ मध्ये जो तपशील दिलेला आहे त्या तपशिलाप्रमाणे भारतातले सर्व उत्पादक सिमेंट बनवतात. त्यामुळे उत्पादकांची व ग्राहकांची अर्थातच सोय होते. वरील विशिष्टीमध्ये जी बंधने व मर्यादा दिल्या आहेत त्या कोणत्या व का हे बघणे उद्बोधक ठरेल. म्हणून या प्रकरणामध्ये रासायनिक गुणधर्मांच्या मर्यादांबाबत, व पुढच्या प्रकरणामध्ये वास्तविक मर्यादांबाबत चर्चा करू या.

विशिष्टी २६९ मध्ये पोर्टलंड सिमेंटच्या तीन प्रकारांबद्दल विवेचन आहे. हे प्रकार म्हणजे :

(१) सर्वसाधारण (Ordinary) पोर्टलंड सिमेंट
(२) जलद दृढ होणारे (Rapid Hardening) पोर्टलंड सिमेंट
(३) अल्पोष्मदायी (Low Heat) पोर्टलंड सिमेंट

या तिन्ही प्रकारचे पोर्टलंड सिमेंट तयार करण्याची पद्धत पुढीलप्रमाणे :

खटिमय व मृण्मय आणि/किंवा दुसरे सिलिका SiO_2, ॲल्यूमिना Al_2O_3, आयर्न ऑक्साइड Fe_2O_3 देणारे पदार्थ पुरेसे एकमेकांत मिसळणे, खंगराच्या तपमानाला ते भाजणे, आणि असा तयार केलेला खंगर अशा तऱ्हेने दळणे की त्यापासून पुढे दिलेल्या तपशिलाबरहुकूम सिमेंट तयार होईल. भाजण्याच्या क्रियेनंतर खंगरात फक्त जिप्सम किंवा/आणि पाणी, आणि फार तर १% पर्यंत वायुबंधक द्राव किंवा दुसरे निरुपद्रवी समावेशक याशिवाय दुसरे काहीही घालणे नाही.

रासायनिक गुणधर्मांच्या पुढे दिलेल्या मर्यादा जोखण्याकरिता अर्थातच सिमेंटचे रासायनिक पृथक्करण करणे जरूर आहे. (जलसंयोगी सिमेंटचे रासायनिक पृथक्करण करण्याची पद्धत भारतीय मानक विशिष्टी ४०३२ मध्ये दिलेली आहे.) पुढीलपैकी पहिल्या दोन मर्यादांचा विचार दुसऱ्या संदर्भात आपण आधीच्या प्रकरणात केलेला आहे.

(अ) चुना तृप्ती गुणपदाचे : $\dfrac{CaO-0.7SO_3}{2.8\ SiO_2+1.2\ Al_2O_3+0.65Fe_2O_3}$

मूल्य सर्वसाधारण व जलद दृढ होणाऱ्या सिमेंटच्या बाबतीत ०.६६ ते १.०२ एवढयात हवे :

सिमेंटमध्ये CaO ची इतर SO_3, SiO_2, Al_2O_3 व Fe_2O_3 ह्या घटकांशी $CaSO_4$, C_3S, C_2S, C_3A व C_4AF ही जी संयुगे असतात, त्यांना इतर घटकांच्या प्रमाणात जास्तीत जास्त किती CaO लागेल, याचे सूत्र काढता येते. ते असे.

$CaO = 0.7SO_3 + 2.8SiO_2 + 1.65Al_2O_3 + 0.35Fe_2O_3$. यात आपण C_3S व C_2S पैकी फक्त त्रि-कॅल्शम सिलिकेटची उपस्थिती धरली आहे. $CaSO_4$ हे जिप्समद्वारा येते. म्हणून हा $CaSO_4$ मधला CaO बाजूला काढला तर खंगरातल्या जास्तीतजास्त संयोगीकरण होऊ शकणाऱ्या CaO चे पुढील सूत्र मिळते :

$$CaO - 0.7SO_3 = 2.8SiO_2 + 1.65Al_2O_3 + 0.35\ Fe_2O_3.$$

परंतु कच्च्या मालात CaO चे जर एवढे प्रमाण असेल तर भट्टीतल्या तपमानाला जो स्थितिसमतोल असतो त्यात CaO चे पुरे संयोगीकरण होणार नाही, व CaO चा काही भाग स्वतंत्र अवस्थेतच राहील. ह्या वरच्या तपमानाला स्थिती समतोलाचा अभ्यास केल्यावर असा निष्कर्ष निघाला की जास्तीत जास्त संयोगीकरण होऊ शकणाऱ्या CaO चे प्रमाण साधारणत: पुढील सूत्राप्रमाणे आहे :

$$CaO - 0.7SO_3 = 2.8\ SiO_2 + 1.2Al_2O_3 + 0.65Fe_2O_3.$$

ह्या सूत्राप्रमाणे सगळ्या CaO चे संयोगीकरणाकरिता चुनातृप्ती गुणपदाचे जास्तीत जास्त मूल्य १.०० असणार. परंतु खंगर जेव्हा १४५०° सें. पासून थंड होऊ लागतो तेव्हा स्वतंत्र अवस्थेत राहिलेल्या थोडयाफार जादा CaO चे संयोगीकरण होऊ शकेल. दुसरे म्हणजे थोडाफार CaO (सुमारे २–२½ % पर्यंत) जर स्वतंत्र अवस्थेत राहिला तर सिमेंटचे गुणधर्म बिघडत नाहीत. म्हणूनच चुना तृप्ती गुणपदाचे कमाल मूल्य १.०२ इतके ठेवले आहे.

या गुणपदाचे किमान मूल्य ०.६६ इतके दिलेले आहे. जितके मूल्य कमी तितके सिमेंटमध्ये C_3S चे प्रमाण कमी व C_2S चे जास्त असेल. म्हणजेच चुना तृप्ती गुणपदाचे मूल्य कमी असलेल्या सिमेंटचे दमनबल वाढण्याचा वेग कमी असणार.

अल्पोष्मदायी सिमेंटमध्ये $CaO - 0.7SO_3$ च्या कमाल व किमान मर्यादा पुढीलप्रमाणे दिलेल्या आहेत :

$$CaO - 0.7SO_3 = 2.4\ SiO_2 + 1.2\ Al_2O_3 + 0.65\ Fe_2O_3 \text{ (कमाल)}.$$

$$CaO - 0.7SO_3 = 1.9\ SiO_2 + 1.2Al_2O_3 + 0.65\ Fe_2O_3 \text{ (किमान)}.$$

$CaO - 0.7SO_3$ चे मूल्य कमाल मर्यादेजवळ असले तर कॅल्शम सिलिकेट्स ($C_3S + C_2S$) मध्ये C_3S चे प्रमाण $\frac{3}{4}$ पर्यंत असेल व किमान मर्यादेजवळ सिमेंटमध्ये फक्त C_2S च असेल.

($CaO - 0.7SO_3$ चे मूल्य किमान मर्यादेपेक्षाही खाली गेल्यास खंगरात जलसंयोग न पावणारी, निरुपयोगी व कमी अल्कधर्मी कॅल्शम सिलिकेट्स असतील.)

म्हणजेच अल्पोष्मदायी सिमेंटमध्ये जलसंयोगी उष्णता जास्त असणाऱ्या C_3S वर कमाल मर्यादा घातलेली आहे. अमेरिकेत "अत्यंत अल्पोष्मदायी" असा पोर्टलंड सिमेंटचा प्रकार प्रचारात असून त्यामध्ये C_3S व C_3A या दोन्हींवर कमाल मर्यादा घातलेल्या आहेत.

(ब) Al_2O_3 / Fe_2O_3 गुणोत्तर : किमान मूल्य ०.६६

या गुणोत्तराचे मूल्य ०.६६ हून खाली घसरले तर खंगरात असलेल्या सर्व ॲल्यूमिना Al_2O_3 चा वापर कॅल्शम ॲल्यूमिनो-फेराइटमध्ये होऊन त्यात C_3A नसणार. असे सिमेंट पहिल्या २४ तासांत दृढ होऊन बलशाली होणे कठीणच.

(क) अविद्राव्य अवशेष : कमाल २ % वजनी

सिमेंटची परीक्षा करताना हायड्रोक्लोरिक अम्लाशी (HCl) विक्रिया केल्यावर जो अविद्राव्य अवशेष मिळतो तो अनेक कारणांमुळे जादा होऊ शकतो. उदा०– खंगर पुरा भाजला गेलेला नसणे, जिप्समच्या दगडामध्ये विशुद्धीचे प्रमाण जास्त असणे, सिमेंट तयार झाल्यावर त्यामध्ये चुकून (किंवा भेसळ करण्यासाठी) मृत्तिकेसमान पदार्थ मिसळले जाणे. या किंवा इतर कोणत्याही कारणामुळे हजर असलेल्या अविद्राव्य अवशेषाची जलसंयुक्त सिमेंटला बल देण्यासाठी काहीच मदत होत नाही. उलट त्यामुळे सिमेंटमधला कार्यप्रवण भाग विरल होतो. म्हणून अविद्राव्य अवशेषावर वरील कमाल मर्यादेद्वारा आवर घातला आहे.

(ड) मॅग्नेशिआ, MgO : कमाल ६ % वजनी

कच्च्या मालातल्या मॅग्नेशिआची इतर ऑक्साइड घटकांशी मिश्र संयुगे होत नाहीत व मॅग्नेशिआ इतर मिश्र संयुगांत फारसा (२–३% पेक्षा जास्त) विद्रवतही नाही. ह्या स्वतंत्र अवस्थेतल्या MgO चे बारीकबारीक स्फटिक खंगरात व सिमेंट-मध्ये राहतात. असे स्फटिक फार प्रमाणात राहिले तर त्यामुळे सिमेंटच्या शिळेवर पाणी काल्वल्यापासून वर्षभरानंतर वाईट परिणाम दिसून येतात. (या परिणामांबद्दल पुढच्या प्रकरणात चर्चा येईलच.) म्हणून सिमेंटमधल्या MgO वर ही कमाल मर्यादा घातलेली आहे.

(इ) एकूण सल्फर, गणितागत SO_3 प्रमाणे कमाल २.७५% वजनी

खंगर दळताना जर जिप्समचे प्रमाण जास्त झाले तर सिमेंट व पाणी एकत्र कालवल्यावर ४–६ तासांनंतरसुद्धा जिप्समचा साठा शिल्लक राहील व तो संपेपर्यंत C_3A च्या जलसंयोगद्वारा एट्रिंगाइट ($3CaO.Al_2O_3.3CaSO_4.31H_2O$) हे द्रव्य तयार होत राहील. ज्या घटकांपासून एट्रिंगाइट तयार होते त्यांचेपेक्षा एट्रिंगाइटचे विशिष्ट आकारमान जास्त असून सिमेंटच्या आत्तापर्यंत दृढ व बलवान झालेल्या शिळेमध्ये फार मोठे प्रसरणी दबाव उत्पन्न होऊन त्यामुळे सिमेंटच्या शिळेला धोका संभवतो. म्हणून SO_3 वर कमाल मर्यादा असणे इष्ट आहे.

(जिप्समप्रमाणेच काही थोडया प्रमाणात कच्च्या मालातून किंवा कोळसादी इंधनातून SO_3 खंगरामध्ये येऊ शकतो व त्यामुळेही SO_3 चे प्रमाण वाढू शकते.)

(फ) ज्वलनान्ती घट : कमाल ४ % वजनी

नवीन तयार सिमेंटमध्ये खरे पाहिले तर ज्वलनान्ती घट फक्त जिप्सम $CaSO_4,2H_2O$ मधल्या पाण्याची हवी. परंतु जिप्समचा दगड शुद्ध नसतो व त्याच्या अशुद्धीतूनसुद्धा थोडी ज्वलनान्ती घट येऊ शकते.

सिमेंटचे साठवलेले चूर्ण जसजसे जुने होते तसतसे ते हवेतली आर्द्रता शोषून घेते व त्यामुळे अशा सिमेंटमध्ये ज्वलनान्ती घट वाढत जाते. शोषून घेतलेल्या बाष्पाच्या सिमेंटशी रासायनिक विक्रिया थोडयाफार प्रमाणात सुरू होऊन सजल संयुगे बनू लागतात. म्हणजे बरेच बाष्प शोषून जलसंयोगी विक्रिया आधीच जर फार पुढच्या स्तरावर गेल्या तर ते सिमेंट ज्वलनान्ती घट बरीच देईल व पाणी कालवल्यावर त्यामध्ये पुरेसे दमनबल येणार नाही. म्हणून ही कमाल मर्यादा.

० ० ० ० ०

आत्तापर्यंत सिमेंटच्या रासायनिक गुणधर्मांच्या आवश्यक प्रमाणित मर्यादांची चर्चा झाली. या मर्यादांचा उपयोग काय ? असा आपल्यापुढे प्रश्न येईल. कारण आपण जेव्हा सिमेंट वापरतो तेव्हा फक्त त्याचे वास्तविक गुणधर्म– आणि विशेषतः त्याचे दमनबल– आपल्या मनात असतात.

सिमेंट शेवटी पुरेसे बलवान होणार की नाही हे कळण्याला पाणी कालवल्या-पासून २८ दिवस थांबावे लागते. परंतु त्याचे इतर रासायनिक व वास्तविक गुणधर्म मोजून ते मूलतः ठीक आहे की नाही, ते पुरेसे भाजले व दळले गेले आहे की नाही, ते जुने व खराब झालेले आहे काय, त्यात भेसळ आहे काय वगैरे अनुमाने १–२ दिवसांत

काढता येतात. म्हणून वरील प्रमाणित मर्यादांची उपयुक्तता व आवश्यकता आहे. या व पुढे येणाऱ्या वास्तविक गुणधर्मांच्या मर्यादांचे बाहेर गुणधर्म गेल्यास सिमेंटमध्ये काही विकृती आहे असे धरण्यास हरकत नाही.

० ० ० ० ०

जलसंयुक्त सिमेंटच्या शिळेशी इतर पदार्थांचा संपर्क आला तर काही पदार्थ या दृढ सिमेंटवर रासायनिक हल्ला चढवू शकतात. अशा रासायनिक हल्ला चढविणाऱ्या काही कारकांची माहिती करून घेऊ.

(१) आम्ले :

पोर्टलंड सिमेंट अल्कधर्मी आहे. म्हणून ऑक्सॅलिक व टार्टरिक ही आम्ले सोडून इतर सर्व आम्लांची सिमेंटवर विक्रिया होऊन सिमेंटचा नाश होतो. ह्यामध्ये कार्बोनिक आम्ल ह्या अप्रभावी आम्लाचाही समावेश आहे. अर्थात् कार्बोनिक आम्लाची प्रक्रिया फार वेगाने घडून येत नाही. पाण्यामध्ये CO_2 विद्रुत झाला असेल तर ह्या CO_2 ची (H_2CO_3) जलसंयोगाने तयार झालेल्या $Ca(OH)_2$ शी विक्रिया होऊन $CaCO_3$ बनते :

$$Ca(OH)_2 + CO_2 = CaCO_3 + H_2O$$

$CaCO_3$ ची पाण्यात विद्रुत झालेल्या CO_2 शी आणखी विक्रिया होते :

$$CaCO_3 + CO_2 + H_2O \rightarrow Ca(HCO_3)_2$$

कॅल्शम बायकार्बोनेट, $Ca(HCO_3)_2$ विद्रुत अवस्थेतच स्थिर असते. सिमेंट वाळू लागल्यावर ह्या बायकार्बोनेटमधला CO_2 उडून जाऊन पुन्हा $CaCO_3$ ह्या अविद्राव्य संयुगाचे निक्षेपण होते. अशा तऱ्हेने सिमेंटच्या आतला $Ca(OH)_2$ बाहेर पृष्ठभागावर $CaCO_3$ च्या स्वरूपात कधीकधी निक्षेपित होऊन मॉर्टर वा काँक्रीटचा पृष्ठभाग फुलारतो.

असा फुलारलेला पृष्ठभाग साफ करणे कठीणच असते. वायर ब्रशने तो कधी-कधी साफ होतो. कधीकधी ह्यासाठी हायड्रोक्लोरिक आम्लाचे साहाय्य घ्यावे लागते. त्याकरिता पृष्ठभाग प्रथम पाण्याने भिजवून ओलाचिंब करतात, म्हणजे आम्ल पृष्ठभागाच्या आत उतरणार नाही. नंतर HCl आम्ल लावतात व पृष्ठभाग साफ करून लगेच खूपशा पाण्याने धुतात. म्हणजे HCl आम्ल किंवा $CaCl_2$ हे पृष्ठभाग डागाळणारे लवण यांचा पृष्ठभागावर मागमूसही राहणार नाही.

परंतु हायड्रोक्लोरिक आम्ल अत्यंत प्रभावी असून त्याचा चुकीचा उपयोग केल्यास सर्व सिमेंटलाच धोका आहे. त्यामुळे हे काम तज्ज्ञ माणसाच्या देखरेखीखालीच करणे जरूर आहे.

(२) सल्फेट :

दुसरा एक महत्त्वाचा धोकादायक हल्ला म्हणजे SO_4^{--} आयनांचा. पाण्यामध्ये विद्रवणारे कोठलेही सल्फेट लवण या दृष्टीने धोकादायक आहे. मागे आपण पाहिलेच की सिमेंटमध्ये पाणी कालवल्यावर C_3A व $CaSO_4, 2H_2O$ यांच्यापासून C_3A च्या जलसंयोगाने प्रथम एट्रिंगाइट, $3CaO. Al_2O_3. 3CaSO_4. 31H_2O$ हे संयुग बनते. पुढे जिप्समचा साठा संपल्यावर एट्रिंगाइट व C_3A यांपासून जलसंयोगाने

एक–सल्फेट, $3CaO. Al_2O_3. CaSO_4. 12H_2O$ तयार होते. नंतर एट्रिंगाइटचा साठा संपल्यावर उरलेल्या C_3A च्या जलसंयोगाने $3CaO. Al_2O_3. Ca(OH)_2. 12H_2O$ किंवा C_4AH_{13} बनते.

आता नंतर दृढ सिमेंटचा SO_4^{--} आयनयुक्त पाण्याशी संबंध आल्यास या सजल संयुगांपासून पुन्हा एट्रिंगाइट तयार होते. परंतु ही रासायनिक विक्रिया घन स्थितीत होत असून विक्रियाघटकांपेक्षा एट्रिंगाइटचे विशिष्ट आकारमान जास्त असल्यामुळे यावेळी घटकांचे प्रसरण होते. ह्या प्रसरणाचा जोर एवढा असतो की त्यामुळे सिमेंटला चिरा पडून त्याचा बलनाश होतो. म्हणून जेथे सिमेंटचा SO_4^{--} आयनयुक्त सागरी अथवा मचूळ पाण्याशी संपर्क येणार असेल (उदा. बांधकामाच्या पायामध्ये वगैरे) तेथे विशेष सल्फेटरोधक सिमेंट वापरणे जरूर आहे. सल्फेटरोधक पोर्टलंड सिमेंटमध्ये Al_2O_3/Fe_2O_3 गुणोत्तराचे मूल्य कमी असून त्यात C_3A हे संयुग जवळजवळ असतच नाही.

(३) शुद्ध पाणी :

प्रथमदर्शनी आश्चर्य वाटेल, पण शुद्ध पाणी सिमेंटवर हळूहळू हल्ला करू शकते, व दृढ सिमेंट पेस्ट त्यात हळूहळू विद्रवू शकते. कारण दृढ पेस्टमधील $Ca(OH)_2$ पाण्यात विद्राव्य आहे. (सुमारे ५.७ ग्रॅ / लि. पाणी) आणि ते शुद्ध पाण्यामुळे हळूहळू धुऊन निघू शकते. ज्या पाण्यात आधीच चुन्याचा विद्राव आहे. (उदा. अफेनद जल) त्या पाण्यात $Ca(OH)_2$ फार विद्रवू शकणार नाही. ह्या उलट फेनद जलाची सिमेंटवर विक्रिया होऊ शकते. दृढ सिमेंटमधून एकदा स्वतंत्र अवस्थेतला

$Ca(OH)_2$ गेल्यावर सजल कॅल्शम सिलिकेट व अॅल्युमिनेट वगैरे संयुगांतूनही CaO बाहेर पडू लागतो व त्यामुळे उरलेल्या दृढ सिमेंट पेस्टचे (शिल्लक राहिलेले कलिल सजल सिलिका, अॅल्यूमिना आणि फेरिक ऑक्साइड) बल घटते. अर्थात् ही विक्रिया पृष्ठभागावरसुद्धा दिसून येण्याला काही वर्षे हवीत. पण कॉंक्रीट जर पुरेसे घन नसेल व हे पाणी दाबाखाली असेल तर ही विक्रिया त्या मानाने लवकर होऊ शकते.

० ० ० ० ०

आतापर्यंत आपण पोर्टलंड सिमेंटच्या काही प्रकारांची चर्चा केली. ते प्रकार म्हणजे :

(१) सर्वसाधारण पोर्टलंड सिमेंट,

(२) जलद दृढ होणारे पोर्टलंड सिमेंट, व

(३) अल्पोष्मदायी पोर्टलंड सिमेंट.

तसेच सल्फेट रोधक पोर्टलंड सिमेंटचाही उल्लेख आलेला आहे. पोर्टलंड सिमेंटचे आणखी दोनतीन खास प्रकार प्रचारात आहेत. त्यांची माहिती करून घेऊ या.

पांढरे सिमेंट :

पोर्टलंड सिमेंटच्या चूर्णाचा व जलसंयोगानंतरच्या दृढ शिळेचा जो रंग असतो तो त्यातल्या आयर्न ऑक्साइड, Fe_2O_3 मुळे. निरनिराळ्या पोर्टलंड सिमेंटच्या कारखान्यातून जे सिमेंट मिळते त्या सिमेंटचे नमुने पाहिले तर त्यांच्या रंगाच्या विविध छटा दिसून येतात. या सर्व विविध छटासुद्धा Fe_2O_3 मुळेच व सिमेंट खंगर भाजण्याच्या व थंड करण्याच्या परिस्थितीवर अवलंबून असतात.

पोर्टलंड सिमेंटचा कच्चा माल जर Fe_2O_3 विरहित असला तर मिळणाऱ्या सिमेंटचा रंग पांढरा असतो. ह्याचाच अर्थ पांढरे सिमेंट तयार करण्याला निवडक शुद्ध आयर्न ऑक्साइडविरहित कच्चा माल वापरावा लागतो. तसेच कच्चा माल व खंगर दळण्याला खास लोहविरहित मृत्कलेचे अस्तर असलेली चक्की व दळणाकरिता माध्यम म्हणून लोहविरहित मृत्कलेचेच गोळे वापरावे लागतात. Fe_2O_3च्या अभावामुळे चक्री-भट्टीतसुद्धा रासायनिक विक्रिया पुऱ्या होण्याला जरा त्रासच पडतो. या सर्व गोष्टींमुळे पांढरे सिमेंट सर्वसाधारण पोर्टलंड सिमेंटपेक्षा महाग असते. परंतु पांढऱ्या सिमेंटचे गठणाचे, बलाचे वगैरे वास्तविक गुणधर्म सर्वसाधारण पोर्टलंड सिमेंटसारखेच असतात.

पांढऱ्या सिमेंटमध्ये विविध रंग मिसळून कोणत्याही रंगाचे सिमेंट मिळते. म्हणून याचा उपयोग मुख्यतः बांधकामाच्या दर्शनी भागावर गिलाव्यासाठी करतात.

जलविरागी सिमेंट :

सिमेंटचे चूर्ण तसेच ठेवून दिले तर ते हवेतली आर्द्रता शोषत राहते व त्याचा हळूहळू जलसंयोग होत राहतो. विशेषतः पावसाळ्यात असे सिमेंट फार काळजीपूर्वक साठवले नाही तर ते लवकर खराब होण्याचा धोका संभवतो.

ह्याकरिता सिमेंटचा खंगर दळताना त्यात काही विशिष्ट पृष्ठकार्यशील द्रव्ये घालतात. या द्रव्यांच्या रेणूंचा निम्मा भाग जलद्वेषी व निम्मा भाग जलप्रेमी असतो. त्यामुळे सिमेंटच्या चूर्णाच्या प्रत्येक कणाभोवती या रेणूंचा बारीक स्तर राहतो व या स्तराच्या पृष्ठभागावर सर्व रेणूंचा जलद्वेषी भाग बाहेरच्या बाजूला राहतो. यामुळे असे कण हवेतली आर्द्रता इतक्या जोमाने शोषत नाहीत व पावसाळ्यात किंवा आर्द्रतेच्या जागेत हे सिमेंट साठवताना एवढी काळजी घ्यावी लागत नाही.

एकदा हे सिमेंट पाण्यात कालवले की ते साध्या सिमेंटप्रमाणेच आपले गुणधर्म दर्शविते. पण या सिमेंटबाबत जराशी एक काळजी घ्यावी लागते. ती म्हणजे पाणी कालवताना हे सिमेंट जर जोराने ढवळले गेले तर पेस्टमध्ये वरील पृष्ठ कार्यशील रेणूंमुळे हवेचे असंख्य बुडबुडे तयार होऊन ते पेस्टमध्ये तसेच राहिल्यामुळे पुढे दृढ सिमेंटचे दमनबल कमी राहण्याचा धोका संभवतो.

तेलविहिरीचे सिमेंट :

खनिज तेलाची विहीर खणली, की ती आतून बांधून घ्यावी लागते. त्याकरिता सिमेंटचा गारा वापरतात. ह्या विहिरींमध्ये तपमान बरेच जास्त (सुमारे २००° सें. पर्यंत) असते व दाबही खूप (सुमारे १३०० कि. ग्रॅ./चौरस सें. मी. पर्यंत) असतो.

तेलविहिरीचे सिमेंटचा राळा आत पंप करीपर्यंत द्रव व तरल राहणे जरूर असते व दृढ झाल्यावर भूपृष्ठाखाली त्याचा सल्फेट SO_4^{--} आयनांशीही संबंध येऊ शकतो. या दोन्ही कारणांमुळे तेल-विहिरींकरिता C_3A जवळजवळ नसलेलेच सिमेंट वापरतात व त्यात सिमेंटच्या गठणाचा वेग मंदावणारे समावेशक मिसळतात.

याही सिमेंटचा वरच्या तपमानाला व दाबाखाली जलसंयोग झाल्यावर (स्फटिकी) टोबर्मोराइट ($C_3S_2H_3$) व सजल चुना, $Ca(OH)_2$ प्रथम तयार होतात. परंतु काही अवधीनंतर या दोहोंची रासायनिक विक्रिया होऊन त्यापासून सजल C_2S (C_2S – अल्फा हायड्रेट) मिळते. हे हायड्रेट मिळताना दमनबलाचा क्षय होतो. म्हणून ही दुसरी विक्रिया टाळण्यासाठी सिमेंटमध्ये गारेच्या वाळूची भुकटी (SiO_2) घालतात. त्यामुळे सजल चुना जसजसा तयार होतो तसतशी त्याची गारेशी रासायनिक विक्रिया होऊन आणखी टोबर्मोराइट मिळते. शेवटी सजल चुना शिल्लकच राहात नसल्यामुळे पुढची विक्रिया व दृढ सिमेंटचा बलक्षय टाळला जातो.

प्रकरण ४

पोर्टलँड सिमेंटचे वास्तविक गुणधर्म

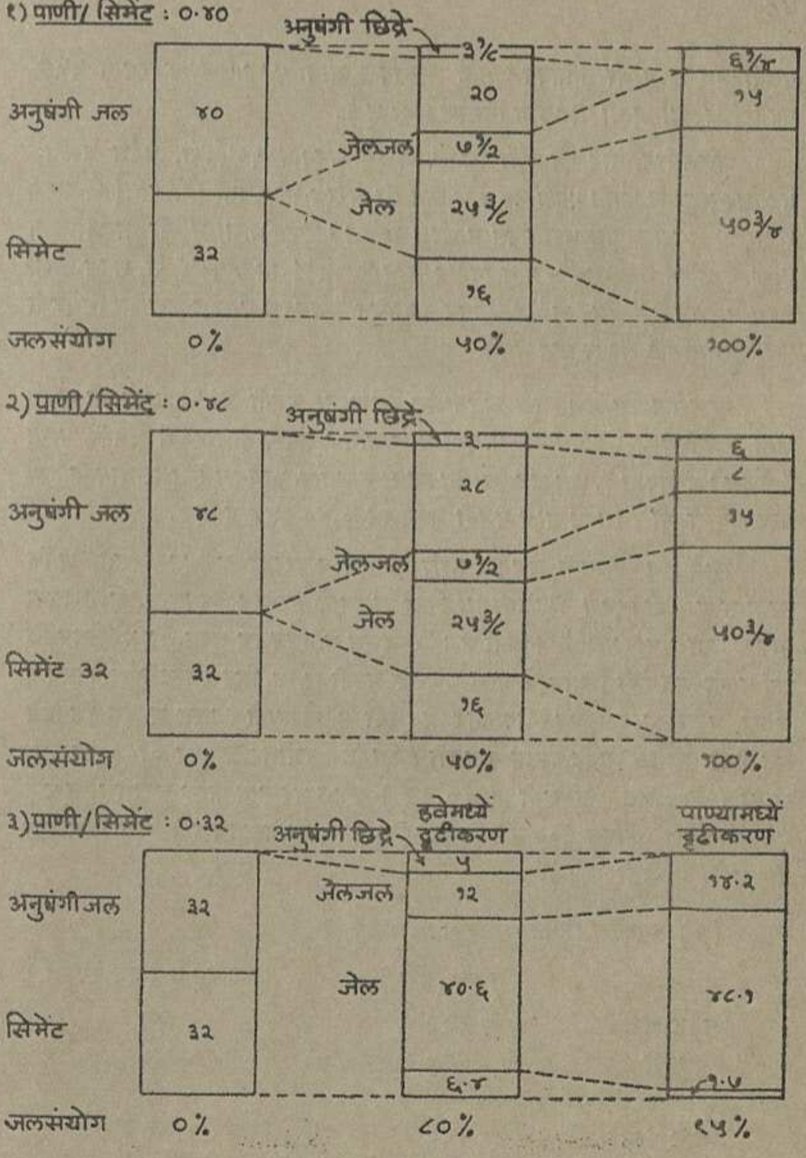
सिमेंटमध्ये पाणी कालवून पेस्ट बनवल्यानंतर बाह्यात्कारी काही वेळ तरी ह्या पेस्टमध्ये काहीच फरक दिसत नाही व ह्या प्रारंभाच्या " सुप्त काळा " नंतरच ती घट्ट होऊ लागते. परंतु ह्या सुप्त काळामध्येसुद्धा, किंबहुना सिमेंट व पाणी यांचा संपर्क झाल्याबरोबर रासायनिक विक्रिया सुरू होतात. पाण्यामध्ये जिप्सम विद्रवू लागते व त्यापासून व C_3A पासून एट्रिंगाइट या अविद्राव्य पदार्थाचे निक्षेपण होते. तसेच C_3S चा जलसंयोग सुरू होऊन टोबर्मोराइट जेल व $Ca(OH)_2$ बनू लागतात. ह्यामुळे पेस्ट कालवल्यापासून काही मिनिटांतच त्यातल्या पाण्यामध्ये $Ca(OH)_2$ चा तृप्त व अतितृप्त विद्रव होतो व नंतर $Ca(OH)_2$ चे स्फटिक रवाळतात.

ह्या सर्व विक्रियांमुळे सिमेंटची पेस्ट काही वेळाने " गठते ", व त्यानंतर काही तासांनी ती दृढ होऊन तिच्यामध्ये दमनबल येऊ लागते.

सिमेंटच्या चूर्णाचे विशिष्ट पृष्ठक्षेत्र– म्हणजेच १ ग्रॅम चूर्णाच्या कणांच्या पृष्ठभागाचे एकंदर क्षेत्रफळ– सुमारे २०००–४००० चौरस सें. मी./ग्रॅम इतके असते. जलसंयोगामुळे ते एक हजारपटींनी वाढते. म्हणजेच १ ग्रॅम सिमेंट-चूर्णाचा जलसंयोग पुरा झाल्यावर जी जेल बनते तिचे पृष्ठक्षेत्र २० लक्ष चौरस सें. मी./ग्रॅम (म्हणजे २०० चौरस मी./ग्रॅम) इतके होते व ह्यावेळी सिमेंटच्या चूर्णाचा वजनी सुमारे २५% पाण्याशी जलसंयोग झालेला असतो.

आणखी एक विशेष म्हणजे पृष्ठक्षेत्र व संयोगित पाणी यांची वाढ एकमेकांशी प्रमाणित असते. याचाच अर्थ जलसंयोगाच्या सुरुवातीपासून शेवटापर्यंत एकाच वास्तविक गुणधर्मांची संयुगे तयार होतात. सिमेंटची पेस्ट जेव्हा गठते तेव्हा जलसंयोग झालेल्या पाण्याचे प्रमाण सुमारे फक्त $\frac{1}{2}$% असते व यावेळी तिचे विशिष्ट पृष्ठक्षेत्र ४०००० चौरस सें. मी. / ग्रॅम इतके वाढलेले असते.

जलसंयोग झाल्यावर सिमेंटची जेल ही जिलॅटिनप्रमाणे लिबलिबित नसून दृढ, ताठर व बलशाली असते, आणि तिच्यामध्ये वर सांगितल्याप्रमाणे मूळ सिमेंटच्या



१) पाणी/ सिमेंट : ०·४०
अनुषंगी छिद्रे
अनुषंगी जल
४०
सिमेंट
३२
जेलजल
जेल
३⅞
२०
७½
२५⅜
१६
६¾
१५
५०¾
जलसंयोग
०%
५०%
१००%
२) पाणी/सिमेंट : ०·४८
अनुषंगी छिद्रे
अनुषंगी जल
४८
सिमेंट ३२
३२
जेलजल
जेल
२८
७½
२५⅜
१६
१५
५०¾
जलसंयोग
०%
५०%
१००%
३) पाणी/सिमेंट : ०·३२
अनुषंगी छिद्रे
हवेमध्यें द्रुटीकरण
पाण्यामध्यें द्रुटीकरण
अनुषंगीजल
३२
सिमेंट
३२
जेलजल
जेल
१२
४०·६
६·४
१४·२
४८·१
१·७
जलसंयोग
०%
८०%
९५%

आकृती ४–१

वजनी २५% पाणी संयोगित असते. संयोग होताना पाण्याचे आकारमान २५% घटते (व त्या जागी पोकळ्या निर्माण होतात).

जलसंयोगानंतर कोरड्या सिमेंट जेलचे तपमान १०५° सें. पर्यंत वाढवले तर तिच्यामधले काही पाणी उडून जाऊन ती बरीच सच्छिद्रता दर्शविते. (जेलमध्ये आता फक्त रासायनिक-संयोगित पाणीच शिल्लक राहते). या बाष्पीभूत झालेल्या पाण्याचे वजन मूळ सिमेंटच्या वजनाच्या सुमारे १५% असते. १०५° सें. तपमानाला उडून जाणारे हे " जेल-जल ", "सैलसर संयोगित " असते व या जेल-जलाचा सिमेंटशी पूर्ण रासायनिक संयोग होत नाही.

म्हणजेच सिमेंटचा पुरा जलसंयोग होण्याला वजनी ४०% पाण्याची जरुरी आहे. ह्यातल्या २५% पाण्याचा पुरा रासायनिक संयोग होणार व १५% पाणी " सैलसर संयोगात ", जेल-जलाच्या स्वरूपात राहणार. म्हणून पूर्ण जलसंयोगाकरिता पेस्टमध्ये पाणी / सिमेंट यांचे वजनी गुणोत्तर ०.४० इतके पाहिजे.

सिमेंटच्या पेस्टची रचना पाणी कालवल्याबरोबर कणमय असते, आणि तिच्यातल्या आंतरकण पोकळ्या वा छिद्रे पाण्याने भरलेल्या असतात. या मोठ्या पोकळ्यांतील पाण्याला " अनुषंगी जल " म्हणतात. म्हणजेच सुरुवातीला पेस्टमधले सर्व पाणी अनुषंगी छिद्रांमध्ये असते. जितके पाणी जास्त, तितके पेस्टचे आकारमान जास्त, परंतु त्यामुळे जलसंयोगानंतर अनुषंगी सच्छिद्रताही जास्त व दृढ सिमेंटचे बल कमी. म्हणून सिमेंट पेस्टमध्ये पाणी / सिमेंटचे गुणोत्तराचे मूल्य ०.४०, त्यापेक्षा जास्त (= ०.४८) वा कमी (=०.३२) असले तर काय फरक पडतील, हे पाहू या. याकरिता आपण १०० ग्रॅम सिमेंट (३.१२५ विशिष्टगुरुत्व) चूर्ण विचारात घेऊ या (आकृती ४-१).

(१) **पाणी / सिमेंट** = ०.४० :

	वजन (ग्रॅम)	आकारमान (घन सें. मी.)
सिमेंट चूर्ण	१००	३२
पाणी	+४०	+४०
सिमेंट पेस्ट	१४०	७२

येथे सुरुवातीला ३२ घन सें. मी. सिमेंट व ४० घन सें. मी. पाणी मिळून पेस्टचे आकारमान ७२ घन सें. मी. होते. पूर्ण जलसंयोग झाल्यावर त्यापैकी २५ घन सें. मी. पाण्याचे आकारमान $\frac{1}{4}$ ने घटते व म्हणून दृढ सिमेंटमध्ये ६$\frac{1}{4}$ घन सें. मी. पोकळी राहते. (ही पोकळी अर्थात् एकाच ठिकाणी नसून अनुषंगी छिद्रांच्या स्वरूपात सर्व

पेस्टभर राहणार. सिमेंट पेस्ट जर हवेत ठेवलेली असेल तर ही अनुषंगी छिद्रे हवेने भरतील व पाण्यात असेल तर पाण्याने भरतील.) तसेच १५ घन सें. मी. जेल-जल व्यापते. म्हणजेच आपणाला ५०$\frac{३}{४}$ घन सें. मी. सिमेंट जेल, १५ घन सें. मी. जेल-जल व ६$\frac{१}{४}$ घन सें. मी. छिद्रे मिळतात.

आकृतीमध्ये ५०% जलसंयोगाच्या वेळचीसुद्धा स्थिती दर्शविली आहे. त्यावरून सिमेंट चूर्ण व अनुषंगी जल यांचे प्रमाण कसे घटत जाते हे दिसून येईल.

(२) **पाणी / सिमेंट** = ०.४८ :

	वजन (ग्रॅम)	आकारमान (घन सें. मी.)
सिमेंट चूर्ण	१००	३२
पाणी	+४८	+४८
सिमेंट पेस्ट	१४८	८०

येथे पहिल्या उदाहरणापेक्षा ८ घन सें. मी. पाणी जास्त घेतल्याने पेस्टचे आकारमान ८० घन सें. मी. इतके झाले. अर्थात् हे जास्तीचे ८ घन सें. मी. पाणी पूर्ण जलसंयोगानंतरसुद्धा अनुषंगी जलाच्या स्वरूपातच राहणार. म्हणजेच जलसंयोगानंतर ६$\frac{१}{४}$ घन सें. मी. अनुषंगी छिद्रांबरोबरच ८ घन सें. मी. अनुषंगी जल राहणार. त्यामुळे एकंदर १४$\frac{१}{४}$ घन सें. मी. अनुषंगी पोकळया राहणार की ज्यांच्यायोगे पहिल्या उदाहरणापेक्षा दृढ सिमेंटचे बल कमी राहणार.

(३) **पाणी / सिमेंट**=०.३२ :

	वजन (ग्रॅम)	आकारमान (घन सें. मी.)
सिमेंट चूर्ण	१००	३२
पाणी	+ ३२	+ ३२
सिमेंट पेस्ट	१३२	६४

आपण वर पाहिलेच, की १०० ग्रॅम सिमेंटचा जलसंयोग होण्याला ४० ग्रॅम पाण्याची जरुरी आहे. (त्यापैकी २५ ग्रॅम पाण्याचा रासायनिक संयोग होऊन १५ ग्रॅम पाणी जेल-जल म्हणून राहणार की ज्याचा पूर्ण रासायनिक संयोग होत नाही.) म्हणजेच ही पेस्ट जर आपण हवेमध्ये दृढ होऊ दिली तर फक्त ८०% सिमेंट चूर्णाचा जलसंयोग होईल व त्यावेळी ५ घन सें. मी. अनुषंगी छिद्रे तयार होतील.

आता हीच पेस्ट जर पाण्यामध्ये दृढ होण्याकरिता ठेवली तर अनुषंगी छिद्रांमध्ये पाणी राहून ह्या पाण्याचा आणखी सिमेंट चूर्णाच्या जलसंयोगाकरिता उपयोग होईल. तरीसुद्धा सिमेंटचा काही भाग (सुमारे १.७%) वर्षानुवर्षे तसाच जलसंयोग न होता टिकून राहील, व आश्चर्य म्हणजे ह्यामुळ सिमेंटचे बल कमी राहणार नाही.

म्हणजे आपण पाहिले की दृढ सिमेंटमध्ये जास्त बल राहण्यासाठी पाणी / सिमेंट गुणोत्तर कमी हवे. परंतु पाणी कमी असल्यास त्या पेस्टची क्रियाशीलता कमी राहणार, ती पेस्ट कालवायला / मळायला कठीण पडणार, त्यामध्ये हवेचे बुडबुडे (म्हणजेच छिद्रे) राहून सिमेंटचे दमनबल घटणार. ह्याचा अर्थ पाणी कमी असणे किंवा जास्त असणे ह्या दोन्हीमुळे दृढ सिमेंटच्या बलात घट येईल. याकरिता ही घट कमीतकमी ठेवण्यासाठी सिमेंट / पाणी गुणोत्तर काही विशिष्ट मर्यादांमध्ये ठेवणे जरूर असते.

० ० ० ० ०

सिमेंटचे चूर्णात पाणी कालवल्यावर जलसंयोगामुळे त्या सिमेंटच्या पेस्टमध्ये काय बदल होतात हे आपण पाहिले. तसेच पेस्टमधल्या पाणी / सिमेंट गुणोत्तराचा दृढ सिमेंटच्या एका महत्त्वाच्या गुणधर्मावर– दमनबलावर– काय परिणाम होऊ शकतो हे आपण पाहिले. आता सिमेंटच्या महत्त्वाच्या सर्व वास्तविक गुणधर्मांचा विचार करू या, व ह्या गुणधर्मांच्या मोजमापन पद्धतींचाही आढावा घेऊ.

मोजमापन किंवा परीक्षापद्धती अशा पाहिजेत की त्यांना फार सिमेंट लागणार नाही, त्या सोप्या असतील, व त्यांचेमध्ये दृढ सिमेंटचे बल मोजण्याकरिता जे नमुने तयार करावे लागतील ते सोईस्कर लहान असून त्यांमधील पाणी / सिमेंटचे वजनी गुणोत्तराचा प्रत्यक्षात वापरण्यात येणाऱ्या गुणोत्तराशी मेळ असेल.

जलसंयोगी सिमेंटच्या वास्तविक परीक्षांच्या पद्धती भारतीय मानक विशिष्टी ४०३१ मध्ये, व वास्तविक गुणधर्मांच्या मर्यादा २६९ मध्ये दिलेल्या आहेत. या सर्वांचा आता आपण विचार करू. अर्थात् एक लक्षात ठेवणे आवश्यक आहे. ते म्हणजे या सर्व परीक्षांमुळे वेगवेगळया कारखान्यांतून तयार झालेल्या सिमेंटच्या नमुन्यांची तुलना करता येईल, व हे सर्व नमुने एका किमान प्रतीपेक्षा चांगले आहेत की नाही हे ठरविता येईल. परंतु हे सिमेंट वापरून काँक्रीट बनवल्यावर त्या काँक्रीटचे बलविषयक गुणधर्म काय मिळतील हे सांगणे कठीण आहे. कारण काँक्रीटकरिता जी वाळू व खडी वापरतात त्यांच्या गुणधर्मांचाही काँक्रीटवर (मुख्यतः तन्य– व नमनबलावर) प्रभाव पडू शकतो.

सिमेंट तयार करावयाला लागणाऱ्या प्रक्रियांमधील शेवटची प्रक्रिया म्हणजे खंगर व जिप्सम एकत्र दळणे. हे मिश्रण पुरेसे बारीक दळले न जाता भरड दळले गेले असेल तर पाणी कालवल्यावर ठराविक वेळात ते दृढ व पुरेसे शक्तिशाली बनणार नाही. म्हणून पुढल्या वेळ खाणाऱ्या परीक्षा करण्याआधी चूर्णांच्या कणांच्या विस्ताराची चांचणी घेणे सोईचे होते, आणि सिमेंटच्या कारखान्यामध्ये अशा तऱ्हेच्या चांचणीचा उपयोग आहे.

ह्यापैकी एक शक्य पद्धत म्हणजे ते सिमेंट वेगवेगळ्या आकारांच्या भोकांच्या चाळण्यांतून चाळून त्याप्रमाणे त्याच्या कणांचे वर्गीकरण करणे. भारतीय मानक विशिष्टीप्रमाणे ९० मायक्रॉनच्या (०.००९ सें. मी.) प्रमाणित चाळणीवर चाळल्यानंतर सर्वसाधारण पोर्टलंड सिमेंटचा भरड अवशेष कमाल १० % वजनी, व जलद दृढ होणाऱ्या सिमेंटचा कमाल ५ % असावा लागे.

परंतु सुमारे ६० मायक्रॉनपेक्षा जास्त व्यासाच्या सिमेंट कणांचा कधीच पुरा जलसंयोग होत नाही, कारण अशा कणांच्या बाहेरील स्तरांचा जलसंयोग झाल्यावर त्यांभोवती जो टोबर्मोराइट जेलचा स्तर तयार होतो, त्यामधून पाण्याच्या रेणूंचे विकिरण होऊ शकत नाही. तरीपण ह्या पूर्ण जलसंयोग न झालेल्या कणांमुळे दृढ सिमेंटचे दमनबल कमी होत नाही. उलट अशा कणांचा एक उपयोगही आहे. तो म्हणजे काही कारणांनी दृढ सिमेंटला जर चीर पडली, तर चिरेच्या पृष्ठभागावर जे असे निर्जल कण येतील त्यांचा ह्यापुढे जलसंयोग सुरू होऊन भेग बुजण्याला मदत होईल. म्हणून आता वरील परीक्षेची व मर्यादेची अट सोडून दिली आहे.

सिमेंटचे पाण्याशी मिश्रण केल्यावर त्यातल्या कणांच्या पृष्ठभागाबरोबर पाण्याच्या रेणूंची रासायनिक विक्रिया सुरू होईल. समजा आपण १ ग्रॅम सिमेंट घेतले तर काही ठराविक वेळात किती भार पाण्याशी त्याची रासायनिक विक्रिया झालेली असेल हे मुख्यतः ह्या १ ग्रॅम सिमेंटच्या कणांच्या पृष्ठभागाच्या क्षेत्रफळावर अवलंबून राहील. सिमेंट जितके बारीक दळले असेल तितके त्याचे विशिष्ट पृष्ठक्षेत्र जास्त, व तितका त्याच्या जलसंयोगाच्या रासायनिक विक्रियांचा वेग जास्त. म्हणून सिमेंटच्या चूर्णाच्या विशिष्ट पृष्ठक्षेत्राचे मापन करणे जरूर आहे. ह्या मापनाच्या पद्धतींची चिकित्सा करण्याआधी आपण चूर्णकणांचे आकारमान, विस्तार व पृष्ठक्षेत्र यांच्या परस्परसंबंधांचा विचार करू.

समजा आपण १०० मायक्रॉन (१/१० मि. मी.) व्यासाचा एक गोलाकृती कण घेतला, तर त्याचे जे वजन व आकारमान असेल त्याच वजनात व आकारमानात १० मायक्रॉन व्यासाचे १००० कण बसतील, व १ मायक्रॉन व्यासाचे तर १०,००,००० कण बसतील. आणि ह्या एकाच वजनाच्या व आकारमानाच्या १००, १० व १ मायक्रॉन

व्यासाच्या कणसमूहांचे पृष्ठक्षेत्र १ : १० : १०० ह्या प्रमाणात असणार! ह्याचा अर्थ असा की एखाद्या चूर्णात १०० मायक्रॉनपेक्षा जास्त भरड कण नाहीत एवढ्या माहितीवरून त्या चूर्णाचे विशिष्ट पृष्ठक्षेत्राबद्दल काहीच सांगता येणार नाही. कारण त्याकरिता त्याचे कण किती बारीक दळले गेले आहेत ही माहिती आवश्यक आहे; आणि अर्थातच चूर्णामध्ये सर्व कण सारख्याच विस्ताराचे असणार नाहीत. काही मोठे, काही मध्यम, काही बारीक, काही अगदी बारीक असणार. म्हणजेच चूर्णाच्या विशिष्ट पृष्ठक्षेत्राबद्दल माहिती या पद्धतीने मिळविण्यास त्यातल्या कणांच्या विस्ताराच्या विभाजनाचे मापन करणे जरूर आहे. ह्या मापनाच्या एकदोन पद्धतींचा आपण विचार करू या.

जर आपण १०० ग्रॅम चूर्ण एका मोठ्या भोकाच्या चाळणीतून चाळले, व चाळणीवरच्या भरड अवशेषाचे वजन केले; नंतर चाळणीमधून खाली गळलेले चूर्ण पहिल्याहून लहान भोकांच्या चाळणीतून चाळले, व या नव्या भरड अवशेषाचे वजन केले; असे क्रमाने लहान-लहान भोकांच्या चाळण्या वापरून आपण वेगवेगळ्या विस्ताराचे कणांचे वेगवेगळे ढीग करून घेऊन त्या ढिगांचे वजन घेत राहिलो, तर किती ग्रॅम कण कोणत्या विस्ताराचे आहेत हे आपल्याला माहीत होते; व हे सर्व कण गोलाकृती आहेत असे धरल्यास त्या सर्वांचे मिळून पृष्ठक्षेत्र काढता येते.

उदा. समजा 'व' सें. मी. व्यासाच्या कणांचे ढिगाचे वजन क्ष ग्रॅम इतके आहे, आणि चूर्णाची घनता घ ग्रॅ. / घन सें. मी. आहे.

आता व व्यासाच्या एका गोलाकृती कणाचे आकारमान $\frac{१}{६}\pi$ व^३ घन सें. मी. आणि वजन $\frac{१}{६}\pi$ व^{३}घ ग्रॅम इतके भरेल.

म्हणजे क्ष ग्रॅममध्ये असे

$$\frac{\text{क्ष}}{\frac{१}{६}\pi\,\text{व}^{३}\,\text{घ}}$$ इतके कण असतील.

अशा 'व' व्यासाच्या प्रत्येक कणाचे पृष्ठक्षेत्र π व^२ चौरस सें. मी. असल्याने या क्ष ग्रॅम चूर्णाचे संपूर्ण पृष्ठक्षेत्र

$$\pi\,\text{व}^{२} \times \frac{\text{क्ष}}{\frac{१}{६}\pi\,\text{व}^{३}\,\text{घ}} = \frac{६ \times \text{क्ष}}{\text{व} \times \text{घ}}$$ चौरस सें. मी. इतके होईल.

या पद्धतीने आपल्याला १०० ग्रॅम चूर्णाचे पृष्ठक्षेत्र काढता येईल, व या संख्येला १०० ने भागून चूर्णाचे विशिष्ट पृष्ठक्षेत्र (१ ग्रॅम चूर्णाचे पृष्ठक्षेत्र) काढता येईल.

आता चाळण्या वापरून विशिष्ट पृष्ठक्षेत्र काढायचे म्हटल्यास सगळ्यात लहान भोकांची चाळणी घेतली तरी ती भोके सुमारे ४५ मायक्रॉन इतकी मोठी असतात. या चाळणीतूनसुद्धा सिमेंटचा बराच भाग चाळला जाईल. म्हणजेच याहून सूक्ष्म कणांचे विभाजन चाळण्यांच्या सहाय्याने करता येणार नाही. परंतु आपण पाहिलेच आहे, की कण जितके जास्त सूक्ष्म तितके त्यांचे वजनाचे मानाने पृष्ठक्षेत्र जास्त. म्हणून सिमेंटकरिता विभाजनाची दुसरी पद्धत अनुसरावी लागेल.

ती पद्धत म्हणजे अवसादनाची. समजा आपण थोडीशी (१ ग्रॅम) बारीक वाळू एका उभ्या भांड्यात १०० मि. लि. पाण्यात घालून भांडे जोरात हलवून ठेवून दिले, तर त्या वाळूचे पाण्यात सर्वत्र विखुरलेले सगळे कण हळूहळू खाली तळाशी बसू लागतील. कण जितका विस्ताराने मोठा तितका जास्त वेगाने तो बुडाशी जाईल. "स्टोक्स"च्या नियमाप्रमाणे 'व' सें. मी. व्यासाच्या गोलाकृती कणाचा पाण्यात खाली जाण्याचा वेग (सें. मी. / सेकंद) पुढील सूत्राप्रमाणे असतो :

$$\text{वेग} = \frac{१०^{-८} \times \text{ग}}{१८} \times \frac{(\text{घ}_२ - \text{घ}_१)\,\text{व}^२}{\text{ष}}.$$

जेथे

ग = गुरुत्व प्रवेग = ९८० सें. मी. / सेकंद^२,

ष = द्रवाची (पाण्याची) विष्यंदा,

व = गोलाकृती कणाचा व्यास (सें. मी.)

$\text{घ}_१$ = द्रवाची घनता, ग्रॅम / घन सें. मी.

$\text{घ}_२$ = चूर्ण कणांची घनता, ग्रॅम / घन सें. मी.

सुरुवातीला जरी पाण्याच्या संधारणामध्ये वाळूचे सगळ्या विस्तारांचे कण सगळीकडे सारखे विखुरलेले असले, तरी मोठ्या कणांच्या अवपातनाच्या जास्त वेगामुळे पाण्याचे वरच्या स्तरांत थोड्याच वेळात फक्त लहान आकाराचे कण शिल्लक राहतील.

पाण्याच्या पृष्ठभागापासून १० सें. मी. खोलीपर्यंत आपण एक सोसनळी बुडवून तीतून ठराविक वेळांनंतर २-२ घन सें. मी. संधारण नमुन्यादाखल ओढून चंचुपात्रात घातले, आणि त्यातल्या पाण्याचे बाष्पीभवन करून खालच्या घन वाळूचे वजन केले, तर जास्त-जास्त वेळाने काढलेल्या संधारणाच्या नमुन्यातील वाळूचे वजन कमीकमी भरेल. या वजनांच्या फरकांवरून आणि "स्टोक्स"चे सूत्र वापरून वाळूच्या कणांच्या विस्ताराचे विभाजन मिळेल व त्यावरून चूर्णाचे विशिष्ट पृष्ठक्षेत्र काढता येईल.

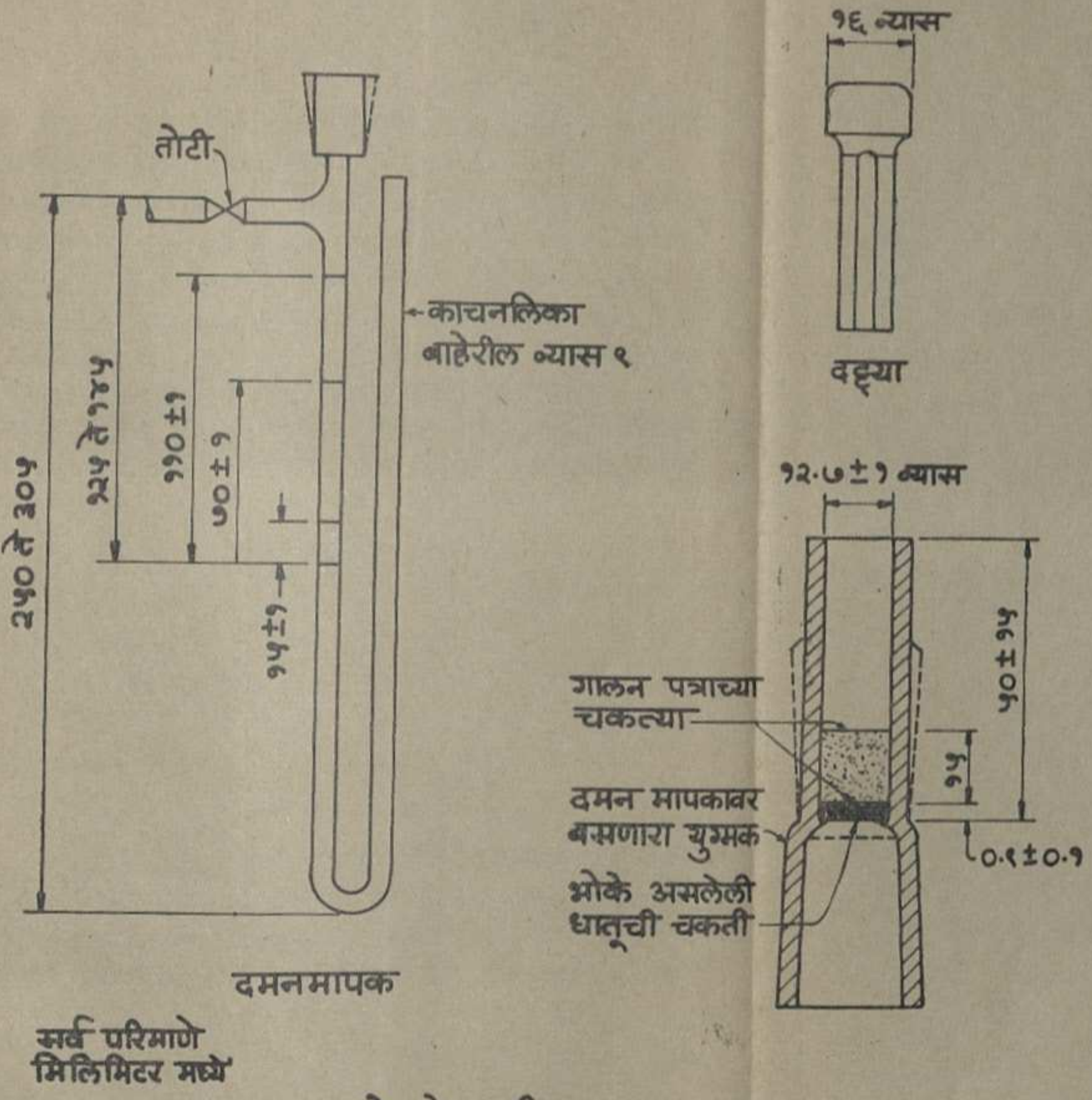
सिमेंटच्या चूर्णाच्या बाबतीत अर्थात् पाणी वापरून चालणार नाही, कारण चूर्णाची पाण्याशी रासायनिक विक्रिया होईल. म्हणून सिमेंटकरिता पाण्याऐवजी रॉकेल तेलाचा उपयोग करतात, व साधी किंवा "अँण्ड्रअँसेन "ची सोसनळी वापरून कण-विस्तार विभाजन (व त्यावरून विशिष्ट पृष्ठक्षेत्र) काढतात.

अँण्ड्रअँसेन सोसनळी वापरून कण-विस्तार विभाजन काढण्याची वरील पद्धत जरा कष्टाची आहे. याकरिता तिला पर्याय म्हणून "वॅग्नर" ने गढूळतामापनाची पद्धत विकसित केली. या पद्धतीत सिमेंटच्या रॉकेलमधल्या संधारणामधून प्रकाशकिरण आरपार सोडतात, व किरणांचा कितवा हिस्सा प्रकीर्ण न होता आरपार जातो हे संधारण तयार केल्यापासून ठराविक वेळानंतर प्रकाशविद्युत्घटाच्या साहाय्याने मोजून त्यावरून चूर्णकण–विस्तार विभाजन ठरवितात. काही अडचणींमुळे ही गढूळतामापनाची पद्धत आता प्रमाण मानली जात नाही.

काही विशिष्ट विकल्पांविषयी तपासणी करणे असेल तरच कणांच्या विस्तार विभाजनाची पद्धत वापरतात. नाहीतर कमी त्रासाच्या दुसऱ्या एका पद्धतीचा उपयोग करतात. ही पद्धत म्हणजे सिमेंटच्या दाबून बसविलेल्या जाड स्तरामधून हवेची पार्यता किती आहे हे मोजून त्यावरून सिमेंटचे विशिष्ट पृष्ठक्षेत्राचे मूल्य काढणे.

समजा आपण काही ग्रॅम चूर्णाचा दाबून जाडसर स्तर केला तर ते चूर्ण जितके बारीक दळलेले असेल तितके त्याचे कण सूक्ष्म व त्यांची संख्या जास्त, त्याचप्रमाणे आंतरकण अनुषंगी छिद्रांचे आकारमानही सूक्ष्मतर व त्याच प्रमाणात या अनुषंगी छिद्रांची संख्या जास्त. अशा घट्टसर स्तराच्या एका बाजूवरचा हवेचा दाब वाढवून आपण त्या स्तरातून हवेचा प्रवाह आरपार पाठवू लागलो तर आपल्याला असे दिसून येते, की चूर्ण जितके बारीक दळलेले असेल तितका हवेच्या प्रवाहाला चूर्णाच्या स्तरापासून जास्त रोध होतो. आता आपल्याला माहीत आहेच, की चूर्ण जितके बारीक दळलेले तितके त्याचे विशिष्ट पृष्ठक्षेत्र जास्त. म्हणजेच चूर्णाच्या स्तरामधून जाण्याला हवेच्या प्रवाहाला किती रोध होतो हे मोजून, म्हणजेच हवेची पार्यता मोजून, त्यावरून चूर्णाचे विशिष्ट पृष्ठक्षेत्र काढता येते.

भारतीय मानक विशिष्टीप्रमाणे ब्लेनच्या हवेच्या पार्यतामापनाच्या पद्धतीने सिमेंटचे विशिष्ट पृष्ठक्षेत्र मोजतात. या पार्यतामापकात (आकृती ४–२) तेल भरलेल्या ९ मि. मी. बाहेरील व्यासाच्या U– नळीच्या एका भुजेवर १२.७ मि. मी. आतील व्यासाची नळी जोडलेली असते. या नळीच्या बुडाशी ३० ते ४० (१ मि. मी. व्यासाची) भोके असलेली धातूची चकती ठेवतात, व तिच्यावर अेक गालनपत्राची चकती बसवतात. या पत्रावर १५ मि. मी. जाड सिमेंटचा थर दट्ट्याने दाबून बसवतात. सिमेंटचे विशिष्टगुरुत्व आधीच काढलेले असल्याने, व १५ मि. मी. उंचीपर्यंत या



ब्लेनचे पार्यतामापक उपकरण

आकृती ४-२

नळीचे आकारमानसुद्धा निश्चित माहीत असल्याने या थरामध्ये ५०% सच्छिद्रता राहण्याकरिता जेवढे सिमेंट लागेल तेवढेच वजन करून याकरिता घेतलेले असते.

सिमेंटच्या स्तराखालच्या अंगाला डावीकडे एका आडव्या भुजेवर जी तोटी असते ती उघडून स्तराखालची हवा शोषून घेतात व तोटी बंद करतात. हवा शोषून घेतल्याने U– नळीच्या डाव्या भुजेमधील तेल भुजाच्या वरपर्यंत चढते, परंतु सिमेंटचा थर सच्छिद्र असल्याने त्यामधून हवा पाझरत राहून ही तेलाची पातळी खाली जाऊ लागते. या सिमेंटच्या स्तरामधून पाझरण्याचा हवेचा वेग तिला किती रोध होतो यावर, म्हणजेच सिमेंटच्या विशिष्ट पृष्ठक्षेत्रावर अवलंबून आहे. म्हणून U– नळीच्या भुजेवर दोन पातळींवर खुणा केलेल्या असतात. त्या दोन खुणांमधून तेलाची पातळी उतरण्याला लागणारा वेळ थांबण्याच्या घड्याळाने मोजतात. या वेळावरून पुढील सूत्र वापरून सिमेंटचे विशिष्ट पृष्ठक्षेत्र काढता येते :

$$प = क \sqrt{व}$$

जेथे,

प = विशिष्ट पृष्ठक्षेत्र, चौरस सें. मी. / ग्रॅम,
व = खुणांमधून पातळी उतरण्याला लागणारा वेळ, सेकंद,
क = उपकरणाचा स्थिरांक.

उपकरणाचा स्थिरांक काढण्याच्या दोन पद्धती आहेत.

(१) गणिती सूत्रांच्या साहाय्याने; किंवा

(२) माहीत असलेल्या सिमेंटच्या प्रमाणित विशिष्ट पृष्ठक्षेत्राच्या साहाय्याने.

ब्लेनचे पार्यतामापकाचे ऋजुकरणाकरिता Cement Research Institute of India, Ballabgarh, Haryana यांच्याकडून असे सिमेंटचे प्रमाणित विशिष्ट पृष्ठक्षेत्राचे नमुने मिळतात, व सर्वसाधारणपणे या नमुन्यांवरूनच ब्लेन उपकरणाचा स्थिरांक निश्चित केला जातो.

भारतीय मानक विशिष्टीप्रमाणे पोर्टलंड सिमेंटचे किमान विशिष्ट पृष्ठक्षेत्र पुढीलप्रमाणे हवे :

पोर्टलंड सिमेंटचा प्रकार	किमान विशिष्ट पृष्ठक्षेत्र (चौरस सें. मी./ग्रॅम)
सर्वसाधारण	२२५०
जलद दृढ होणारे	३२५०
अल्पोष्मदायी	३२००

यापैकी जलद दृढ होणाऱ्या सिमेंटचे पृष्ठक्षेत्र सर्वसाधारण प्रकारच्या सिमेंटपेक्षा जास्त हवेच; कारण त्यामुळे सिमेंटच्या जलसंयोगाचा वेग वाढण्यास मदत होईल. तसेच अल्पोष्मदायी सिमेंटमध्ये त्या मानाने शीघ्रबलदायी त्रिकॅलशम सिलिकेटचे प्रमाण कमी असल्याने ते बारीक दळून त्याचा जलसंयोगाचा वेग वाढविणे जरूर आहे.

आता ह्या पुढच्या परीक्षा सिमेंटमध्ये पाणी कालवल्यानंतरच्या आहेत. त्याकरिता पहिला प्रश्न म्हणजे सिमेंटमध्ये पाणी किती प्रमाणात घालणार ? जितके पाणी जास्त तितकी सिमेंटची पेस्ट पातळ असणार, ती पेस्ट कोठेही थापून बसविण्याला कमी त्रास पडेल व गवंड्याचे काम सोपे होईल. पण आपण पाहिलेच आहे, की पेस्टमध्ये जितके पाणी जास्त, तितके तिचे आकारमान मोठे व अशी पेस्ट घट्ट होऊन जलसंयोग झाल्यावर व नंतर ती सुकून जास्तीचे पाणी उडून गेल्यावर जास्त सच्छिद्र बनते व अशा दृढ सिमेंटचे दमनबल कमी राहते. तसेच सुकताना अशा पेस्टचे आकुंचनही जास्त होते. पेस्ट पातळ असण्याचा आणखी एक धोका म्हणजे पातळ पेस्ट हे सिमेंट चूर्णाचे पाण्यातील संधारणच होय. त्यामुळे अशी पेस्ट थापल्यावर तिच्यामध्ये सिमेंटचे कण अवपातनामुळे खाली बसू लागतात, पेस्ट वरच्या बाजूला विरळ होते, व या वरच्या अंगाला पेस्ट दृढ होण्याच्या आतच पाण्याचा एक स्तर वेगळा होऊ शकतो.

या उलट पेस्टमध्ये पाणी कमी असल्यास ती कितीही जोराने कालवून थापली तरी ती एकविध होणार नाही, व तिच्यात हवेच्या पोकळ्या राहू शकतील. म्हणजेच सिमेंटमध्ये पाणी काही विशिष्ट मर्यादांमध्येच घालणे इष्ट आहे. ह्या मर्यादा पुढील तीन गोष्टींवर अवलंबून आहेत :

(१) सिमेंट किती बारीक दळले आहे व त्याचे विशिष्ट पृष्ठक्षेत्र केवढे ? जितके बारीक दळले असेल, म्हणजेच जितके जास्त विशिष्ट पृष्ठक्षेत्र, तितकी पाण्याची गरज जास्त.

(२) एका विशिष्ट पृष्ठक्षेत्राच्या सिमेंटमध्ये अति-बारीक पीठ किती, त्यामानाने पाण्याची जरुरी वाढणार.

(३) सिमेंटमध्ये C_3A व C_3S किती प्रमाणात आहेत ? पाणी कालवल्यावर लगेच ही दोन संयुगे जलद जलसंयोग पावू लागतात, व म्हणून त्यांचे प्रमाण सिमेंटमध्ये जास्त असल्यास पाण्याची गरजही वाढते.

प्रमाणित संघनतेकरिता लागणारे पाणी :

सिमेंटच्या चूर्णामध्ये किती पाणी घातल्यावर एका प्रमाणित संघनतेची पेस्ट मिळेल हे शोधून काढण्याची एक सोपी अनुभवजन्य पद्धत भारतीय मानक विशिष्टीमध्ये दिलेली आहे, ती पाहू :

ह्याकरिता सिमेंटच्या चूर्णाचे वजन करून व त्याचप्रमाणे पाण्याचे वजन करून ते पाणी सिमेंटमध्ये मिसळून थाप्यांचे साहाय्याने एकत्र कालवतात व पेस्ट बनवतात. सिमेंटचा पाण्याशी संबंध आल्यापासून किमान तीन ते कमाल पाच मिनिटांत पेस्ट एका साच्यामध्ये भरू लागतात.

हा साचा चित्याकृती असून त्याचा व्यास ८० मि. मी. व उंची ४० मि. मी. असते. साच्यात सिमेंट भरण्यापूर्वी तो एका विनाछिद्र सपाट प्लेटवर ठेवतात. पेस्ट भरत असताना साचा हलवतात व त्यायोगे पेस्ट भरताना तिच्यामध्ये अडकलेली हवा बाहेर पडते. साचा भरल्यावर त्यातल्या पेस्टचा पृष्ठभाग साचाच्या वरच्या पृष्ठ-भागाबरोबर सारखा करून घेतात, व नंतर हा साचा खालच्या विनाछिद्र प्लेटसकट "व्हिकाट"च्या उपकरणात ठेवतात.

व्हिकाट उपकरणात (आकृती ४–३) ३०० ग्रॅम वजनाचा वरखाली होणारा एक दांडा व त्याला जोडलेली पातळीमापक सूचिका असते. संघनतेच्या परीक्षेकरिता या दांड्याला १० मि. मी. व्यासाचा व ५० मि. मी. उंचीचा दंड जोडतात. दंड वर करून त्याखाली सिमेंटची पेस्ट भरलेला साचा ठेवल्यावर दंडाचे खालचे टोक पेस्टच्या पृष्ठभागाला टेकेपर्यंत दंड खाली आणतात व लगेच सोडून देतात. आपल्या वजनाने दंड खाली जाऊन पेस्टमध्ये घुसतो.

सिमेंटच्या पेस्टमध्ये पाणी फार असल्यास दंडाचे टोक पेस्टमधून आरपार जाऊन खालच्या प्लेटलासुद्धा टेकेल. पाणी कमी असल्यास दंड फार आतमध्ये घुसणार नाही. पेस्टच्या खालच्या पृष्ठभागापासून ५ ते ७ मि. मी. इतके जर हे टोक घुसले तर ही पेस्ट प्रमाणित संघनतेची आहे असे धरतात, व ह्या पेस्टकरिता सिमेंटच्या चूर्णाच्या वजनी किती टक्के पाणी लागले त्या आकड्याची नोंद करतात. प्रमाणित संघनतेच्या पेस्टला लागणाऱ्या पाण्याच्या वरील आकड्यावरून पुढील परीक्षांना लागणारे पाणी ठरविले जाते. अनुभवी कारागिराला साधारणपणे २–३ प्रयोगांमध्ये प्रमाणित संघनतेकरिता पाण्याची गरज किती हे ठरविता येते.

सिमेंट गठणाचे प्रारंभिक व अंतिम काळ :

आपण पाहिलेच आहे, की सिमेंटमध्ये पाणी कालवल्याबरोबर लगेच जरी रासायनिक विक्रिया सुरू होतात तरी थोड्या वेळानंतरच ती पेस्ट घट्ट होऊ लागते. सिमेंट चूर्णाचा पाण्याशी संपर्क आल्यापासून पेस्ट घट्ट होऊ लागण्याला जो वेळ लागतो तो सिमेंट गठणाचा प्रारंभिक काळ.

काही तासांनी सिमेंट पेस्ट द्रव अवस्थेतून घन अवस्थेत जाते. पाण्याच्या संपर्का-पासून पेस्ट घन अवस्थेत पोहोचण्याला जो वेळ लागतो तो सिमेंट गठणाचा अंतिम

काळ. गठणाचे प्रारंभिक व अंतिम काळ हे दोन्ही व्हिकाटचे उपकरणाचे (आकृती ४–३) साहाय्याने मोजतात.

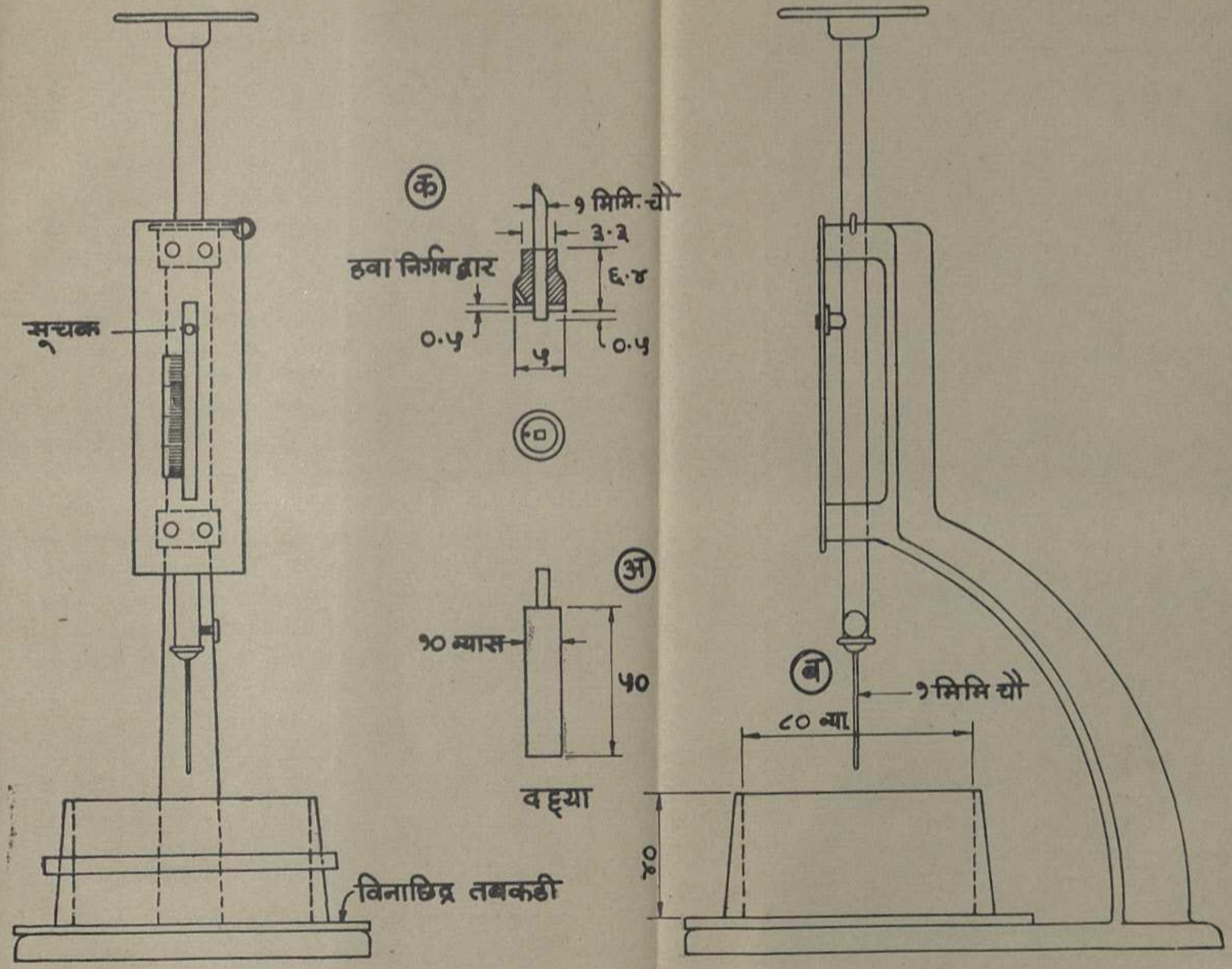
ह्याकरिता प्रमाणित संघनतेला लागणाऱ्या पाण्याच्या ०.८५ हिस्सा इतकेच पाणी सिमेंटबरोबर कालवतात व मागल्या परीक्षेप्रमाणेच ही सिमेंटची पेस्ट व्हिकाट साच्यामध्ये भरून उपकरणाखाली ठेवतात.

प्रारंभिक काळाच्या परीक्षेकरिता उपकरणातल्या वरखाली होणाऱ्या दांड्याला १ मि. मी. चौरस लंबच्छेदाची सुई लावतात. आता पूर्वीप्रमाणेच सुईचे खालचे टोक पेस्टच्या वरच्या पृष्ठभागाला टेकवून हात सोडून देतात. प्रथमप्रथम सुई पेस्टच्या आरपार जाईल. परंतु जेव्हा पेस्ट घट्ट होऊ लागेल तेव्हा ती सुई खालपर्यंत पोहोचणार नाही. पाण्याशी संपर्क आल्यापासून वेळ मोजायला सुरुवात केली तर सुई पेस्टच्या खालच्या पृष्ठभागापासून ५ $\pm$ ०.५ मि. मी. पर्यंतच घुसण्याला जो वेळ लागेल. तो पेस्टचे गठणाचा प्रारंभिक काळ होय.

ह्या काळाची नोंद घेतल्यावर अंतिम काळ ठरविण्याकरिता दुसरी सुई वापरतात ही सुईसुद्धा १ मि. मी. चौरस लंबच्छेदाची असते. पण हिच्या खालच्या टोकापासून ०.५ मि. मी. वर ५ मि. मी. व्यासाचे धातूचेच कंकणाकृती एकमध्य पाते असते. जेव्हा प्रथम ही सुई सिमेंटच्या पेस्टच्या वरच्या पृष्ठभागाजवळ धरून उपकरणाचा दांडा सोडून देतात तेव्हा ती ०.५ मि. मी. पेक्षा जास्त खोलवर पेस्टमध्ये घुसते, व पेस्टच्या पृष्ठभागावर प्रथमप्रथम मधल्या सुईचा व बाजूच्या कंकणाकृती पात्याचाही छाप उमटतो. कालांतराने सिमेंट दृढ होऊ लागेल तेव्हा फक्त मधल्या सुईचाच छाप पेस्टच्या पृष्ठभागावर उमटेल, व बाहेरच्या कंकणाकृती पात्याचा छाप उमटणार नाही; कारण सुई पेस्टमध्ये ०.५ मि. मी. इतकी खोल आता घुसणारच नाही. सिमेंटचा पाण्याशी संपर्क आल्यापासून ह्या वेळेपर्यंतचा काळ हा गठणाचा अंतिम काळ होय.

भारतीय मानक विशिष्टीप्रमाणे तीन प्रकारच्या पोर्टलंड सिमेंटच्या गठणाच्या काळांच्या पुढीलप्रमाणे मर्यादा दिलेल्या आहेत :

पोर्टलंड सिमेंटचा प्रकार	गठणाचा काळ (मिनिटे)	
	प्रारंभिक	अंतिम
सर्वसाधारण	कमीत कमी ३०	जास्तीत जास्त ६००
जलद दृढ होणारे	कमीत कमी ३०	जास्तीत जास्त ६००
अल्पोष्मदायी	कमीत कमी ६०	जास्तीत जास्त ६००



सर्व परिमाणे मिलिमिटर मध्ये

अ) संघनतेची परीक्षा
ब) गठणाचे प्रारंभिक काळाची परीक्षा
क) गठणाचे अंतिम काळाची परीक्षा

व्हिकाटचे उपकरण

आकृती ४–३

प्रारंभिक काळाला किमान मर्यादा हवी. कारण सिमेंट, वाळू वगैरे पाण्यात मिसळल्यावर निदान सुमारे $\frac{3}{4}$ तास वेळ तरी ते मिश्रण नेऊन ओतून जागच्या जागी थापण्याला गवंड्याला अवसर हवा. तसेच अल्पोष्मदायी सिमेंटमध्ये C_3S कमी असल्याने त्याचा जलसंयोगाचा वेग आणि म्हणूनच गठणाचा प्रारंभिक काळ जास्तच असणार.

गठणाच्या अंतिम काळापासून सिमेंट पेस्ट दृढ होऊ लागते. म्हणून या काळाला १० तासांची कमाल मर्यादा दिलेली आहे. अंतिम काळ १० तासांपेक्षा जास्त झाल्यास ते सिमेंट कमी प्रतीचे ठरेल.

सिमेंटची पेस्ट कधीकधी जलद (अर्ध्या तासाच्या आत) गठलेली दिसते. हे गठण मुख्यत: दोन कारणांमुळे :

(१) आकस्मिक गठण : सिमेंटचा खंगर दळताना जिप्सम पुरेशा प्रमाणात मिसळले गेले नसेल तर चूर्णातल्या C_3A चा फार वेगाने जलसंयोग होऊन सिमेंट एकदम घट्ट होईल, व असे सिमेंट वापरण्याला निरुपयोगी ठरेल.

(२) लटके गठण : सिमेंटचा खंगर व जिप्सम $CaSO_4,2H_2O$ एकत्र दळताना त्यांचे तपमान वाढले तर त्यातल्या जिप्समचे स्फटिकजल ३/४ किंवा पुरे निघून जाऊन निम्जल $CaSO_4$, $\frac{1}{2}$ H_2O किंवा निर्जल $CaSO_4$ शिल्लक उरतात. या दोन्ही संयुगांची पाण्यात विद्राव्यता $CaSO_4, 2H_2O$ पेक्षा जास्त आहे, व ती वेगाने पाण्यात विरघळतात. त्याचबरोबर $CaSO_4$, $2H_2O$ चा निक्षेप प्लास्टर ऑफ पॅरिसप्रमाणे तयार होऊन ही पेस्ट झटकन गठते. ह्यावेळी पेस्ट जर पुन्हा चांगली ढवळली तर हा घट्टपणा जाऊन सिमेंट पुन्हा पूर्ववत होते व ही पेस्ट निरुपयोगी ठरत नाही. अर्थात् पुनर्ढवळणाच्या आवश्यक क्रियेमुळे हे लटके गठण सिमेंट मॉर्टर वा कॉंक्रीट वापरताना त्रासदायकच ठरते.

समांगता परीक्षा :

सिमेंटचा खंगर भाजून तयार करताना आपण पाहिले की कच्च्या मालातल्या सर्वच्या सर्व CaO ची SiO_2, Al_2O_3 वगैरेशी संयुगे होत नाहीत. काही थोड्या प्रमाणात CaO स्वतंत्र अवस्थेत राहतो. स्वतंत्र अवस्थेतल्या CaO चे प्रमाण जास्त असेल, किंवा स्वतंत्र CaO चे स्फटिक सूक्ष्मच– पण त्यामानाने विस्ताराने मोठे असतील तर त्यांचा जलसंयोगानंतर बनलेल्या सिमेंटच्या दगडावर वाईट परिणाम होईल. कारण हे चुन्याचे स्फटिक अगदी वरच्या तपमानाला (सुमारे १४५०° सें. पेक्षा जास्त) जाम भाजलेले असतात. त्यामुळे पाण्याशी संपर्क आल्याबरोबर लगेच या चुन्याच्या स्फटिकांचा जलसंयोग होत नाही. त्याला काही आठवडे लोटावे लागतात,

व त्या आधीच सिमेंटची पेस्ट दृढ होऊन तिच्यामध्ये दमनबल आलेले असते. आता चुन्याचा जलसंयोग होऊन जेव्हा सजल चुना बनतो :

$$CaO + H_2O \rightarrow Ca(OH)_2$$

त्यावेळी चुन्याचे स्फटिक प्रसरण पावून सजल चुन्याचे स्फटिक तयार होतात. परंतु या प्रसरणाचा आवेग एवढा दांडगा असतो, की त्यामुळे सिमेंटच्या दृढ झालेल्या शिळेला अगदी भेगा पडून तिचा बलक्षय होतो.

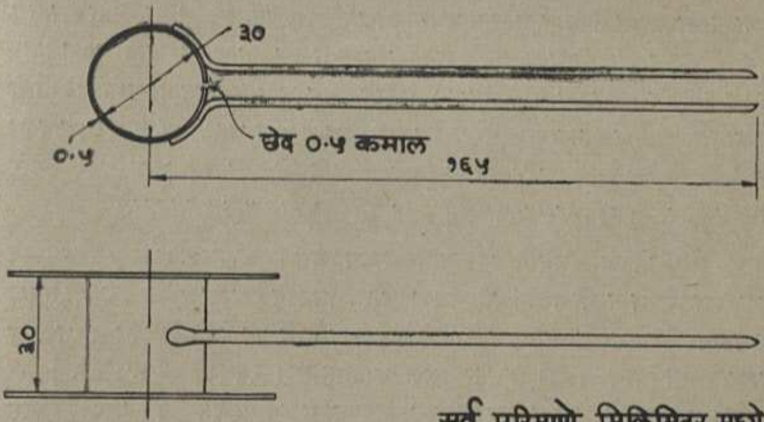
त्याचप्रमाणे खंगरामध्ये मॅग्नेशिआ (MgO) जास्त असला (२–२.५% किंवा अधिक) तर त्याचेही स्वतंत्र स्फटिक (पेरिक्लेज, MgO) राहतात, व त्यांचेपासूनही असाच धोका संभवतो. कारण या स्फटिकांच्या जलसंयोगाला काही वर्षे लागतात, व त्यांच्याही प्रसरणाच्या दाबामुळे जलसंयोग झालेल्या सिमेंटच्या दगडाला भेगा पडून त्याची शक्ती नाश पावते.

स्वतंत्र अवस्थेतल्या CaO व MgO च्या जलसंयोगामुळे संभाव्य धोके काही आठवड्यांनंतर / काही महिन्यांनंतर दृष्टोत्पत्तीस येतात. आपल्यापुढल्या सिमेंटच्या नमुन्यापासून असे धोके येणार की नाही हे ठरविण्याकरिता सिमेंटची पेस्ट वरच्या तपमानाला ठेवून तिचा, व तिच्यातील CaO व MgO चा जलसंयोग शीघ्रगतीने घडवून आणून थोड्या वेळात पारख करता येते. या परीक्षेच्या दोन पद्धती :

(१) **ल-शॅतेलिएची पद्धत** : ह्या पद्धतीत ०.५ मि. मी. जाडीचा स्प्रिंग पितळेचा किंवा तत्सम धातूचा चित्याकृती साचा घेतात. ह्याचा व्यास ३० मि. मी. असून उंचीही ३० मि. मी. असते, व हा साचा परिघावर अक्षाला समांतर छेदलेला असतो. (आकृती ४–४) परिघावरच्या या भेगेची रुंदी ०.५ मि. मी. पेक्षा जास्त नसते. भेगेच्या दोन बाजूंना अक्षाला प्रलंब असे जोडलेले १६५ मि. मी. लांबीचे याला दोन दर्शकभुज असतात.

सुरुवातीला सिमेंटच्या चूर्णात प्रमाणित संघनतेला लागणाऱ्या पाण्याच्या ०.७८ हिस्सा इतके पाणी कालवतात, व वरील साचा एका काचेच्या प्लेटवर ठेवून त्यात ही सिमेंटची पेस्ट भरतात. साच्यावर दुसरी एक काचेची प्लेट, व तिच्यावर वजन ठेवतात; अणि हा सगळा संच पाण्यामध्ये २७° ± २° सें. तपमानाला २४ तास ठेवतात. या काळात सिमेंटची पेस्ट दृढ होऊन थोडी शक्तिशालीही बनते.

२४ तासांनंतर साचाच्या दोन दर्शकांच्या लांबच्या टोकांमधले अंतर मोजून साचा परत पाण्यात ठेवतात, व पुढल्या २५–३० मिनिटांत पाण्याचे तपमान उकळी येईपर्यंत वाढवतात. उकळत्या पाण्यात हा साचा तीन तास ठेवून नंतर बाहेर काढतात,



सर्व परिमाणे मिलिमिटर मध्ये

ल शॉतेलिए परीक्षा पध्दती करिता उपकरण

आकृती ४–४

आणि गार झाल्यावर पुन्हा त्याच्या दर्शकांच्या टोकांतले अंतर मोजतात. हे अंतर प्रसरणामुळे १० मि. मी. पेक्षा जास्त वाढलेले नको.

प्रसरणामुळे हे अंतर १० मि. मी. पेक्षा जास्त वाढले असेल तर ह्या सिमेंटच्या चूर्णाचा पसरून ७५ मि. मी. जाडीचा थर ७ दिवसपर्यंत ५० ते ८० टक्के सापेक्ष आर्द्रतेच्या खोलीत ठेवतात, आणि त्यानंतर पुन्हा ही परीक्षा घेतात. यावेळी मात्र प्रसरण ५ मि. मी. पेक्षा जास्त असता कामा नये.

(२) **ऑटोक्लेव्ह पद्धत** : या पद्धतीत ५०० ग्रॅ. सिमेंटमध्ये प्रमाणित संघनतेला लागणारे पाणी कालवून ही पेस्ट २५०×२५ मि. मी. लंबच्छेदाच्या २५ मि. मी. उंचीच्या साच्यात भरतात. साचाच्या दोन टोकांना पेस्टमध्ये १६ मि. मी. आत बसतील असे ६.५ मि. मी. व्यासाचे धातूचे दोन चित्याकृती तुकडे साचाच्या लांबीला समांतर आणि बाजूच्या टोकांच्या पृष्ठभागाच्या मधोमध बसवतात. बसविताना या तुकड्यांची आतली टोके एकमेकांपासून २५±२ मि. मी. अंतरावर असतात. २४±½ तासांपर्यंत साचा आर्द्र हवेत ठेवून सिमेंटची पेस्ट दृढ व थोडी शक्तिशाली बनवितात, व त्यानंतर हा सिमेंटचा तुकडा साच्यातून बाहेर काढून त्याची लांबी मोजतात.

दृढ सिमेंटचा वरचा तुकडा आता दाबपात्रात (ऑटोक्लेव्ह मध्ये) उभा ठेवून व पात्रात खाली पाणी घालून पात्र बंद करतात. नंतर विजेच्या साहाय्याने पाणी तापवू लागतात. आतल्या पाण्याची वाफ बाहेर येऊ लागली, की पात्र सीलबंद करतात व पाण्याचे तापमान १–१। तासात इतके वाढवतात (२१५.७°±१.७° सें.) की पात्रातल्या वाफेचा दाब वातावरणातल्या हवेच्या दाबापेक्षा २१±१ कि. ग्रॅ. / चौरस सें. मी. जास्त असेल. ह्या दाबाखाली पात्र तीन तास ठेवतात.

त्यानंतर आतला वाफेचा दाब २१ कि. ग्रॅ. पासून १ कि. ग्रॅ. / चौरस सें. मी. इतका खाली येईपर्यंत दाबपात्र एक तासात थंड होऊ देतात व नंतर आतली जास्त दाबाची वाफ सोडून देतात. आता आतला दृढ सिमेंटचा तुकडा ९०° सें. वर तपमान असलेल्या पाण्यात बुचकळून त्याचे तपमान १५ मिनिटांत २७°±२° सें. इतके खाली आणतात, व त्यानंतर पुन्हा सिमेंटच्या दगडाची लांबी मोजतात.

ह्या परीक्षेमध्ये सिमेंटच्या दगडाचे प्रसरण जास्तीत जास्त ०.८ टक्के इतकेच हवे. ज्या सिमेंटमध्ये MgO चे प्रमाण ३ टक्क्यांपेक्षा जास्त आहे त्याच्या बाबतीत ही परीक्षा करणे जरूर आहे.

दमनबल मापन :

सिमेंटचे दमनबल मोजण्याच्या प्रमाणित पद्धतीत २०० ग्रॅ. सिमेंट व ६०० ग्रॅम प्रमाणित वाळू (भारतीय मानक विशिष्टी ६५०) एका विनाच्छिद्र प्लेटवर घेऊन

प्रथम एक मिनिटभर थापीच्या साहाय्याने एकमेकांत मिसळतात. ह्यानंतर पुढील सूत्राप्रमाणे त्यात पाणी घालतात :

सिमेंट व वाळू यांच्या वजनाच्या (प/४+३.०)%.

येथे प= प्रमाणित संघनतेकरिता १०० ग्रॅ. सिमेंटला आवश्यक पाणी.

हे मिश्रण आता ३ ते ४ मिनिटे एकत्र कालवतात. ४ मिनिटात जर पेस्टचा रंग सगळीकडे सारखा झाला नसेल तर ती टाकून देऊन पुन्हा नवीन सिमेंटने सुरुवात करणे जरूर होते. थापीच्या साहाय्याने एवढ्या थोड्या वेळात एकसंध मिश्रण करणे कुशल कारागिराचेच काम आहे.

ह्या सिमेंट मॉर्टरच्या पेस्टकरिता एक त्रिमात्र साचा वापरतात. ह्याचा आकार एवढा हवा की मॉर्टरच्या प्रत्येक बाजूचे पृष्ठक्षेत्र ५० चौरस सें. मी. इतके भरेल. (म्हणजेच प्रत्येक बाजू ७.०७१ सें. मी. असेल.)

ह्या साचाच्या प्रत्येक जोडावर पेट्रोलिअम जेली लावतात, जेणेकरून त्यातून पाणी झिरपून जाणार नाही. तसेच आतल्या पृष्ठभागावर साचाच्या तेलाचा पातळ थर लावतात, म्हणजे सिमेंट मॉर्टर साच्याला चिकटणार नाही. हा साचा कंपनयंत्रावर बसवतात.

आता कालवलेला ओला सिमेंट मॉर्टर साच्यामध्ये ओतून २५×१२ मि. मी. लंबच्छेदाच्या प्रमाणित ठासणीने सुमारे ८ सेकंदात २० वेळा ठासतात, म्हणजे आत अडकलेली हवा बाहेर पडेल व मधमाश्यांच्या पोळ्याप्रमाणे मॉर्टर पोकळ न राहता आत घट्ट बसेल. उरलेला मॉर्टर पुन्हा त्यावर ओतून पुन्हा ठासतात व कंपनयंत्र सुरू करतात. दर मिनिटाला १२०००±४०० कंप देणारे हे यंत्र २ मिनिटे सुरू ठेवतात. त्यामुळे मॉर्टर घट्ट बसतो.

यानंतर साचा यंत्रावरून काढून त्यातल्या मॉर्टरचा वरचा पृष्ठभाग थापीने सारखा करून घेतात व साचा २७°±२° सें. तपमानाच्या व किमान ९० टक्के आर्द्रता असलेल्या हवामानात २४ तास ठेवतात.

(प्रत्येक त्रिमात्राकरिता २०० ग्रॅम सिमेंट वजन करून घेण्यापासून सर्व क्रिया पुनःपुन्हा करणे आवश्यक आहे.)

२४ तासांनंतर मॉर्टरचा दगड साच्यामधून काढून पाण्यात २७°±२° सें. या तपमानात ठेवतात. दर ७ दिवसांनी हे पाणी बदलतात.

पाहिजे तितक्या दिवसांनी त्रिमात्र बाहेर काढून वाळू न देता दमन परीक्षा यंत्रावर त्याचे दमनबल मोजतात. हे मोजताना त्रिमात्रावरील दाब ३५० कि.

ग्रॅ. / चौरस सें. मी. / मिनिट या वेगाने वाढवतात. भारतीय मानक विशिष्टीप्रमाणे दमनबलाच्या किमान मर्यादा पुढीलप्रमाणे :

जलसंयोगाचा काळ		किमान दमनबल (कि. ग्रॅ. / चौरस से. मी.) सिमेंटचा प्रकार सर्वसाधारण	जलद दृढ होणारे	अल्पोष्मदायी
२४ तास ± ३० मिनिटे	(१ दिवस)	–	१६०	–
७२ तास ± १ तास	(३ दिवस)	१६०	२७५	१००
१६८ तास ± २ तास	(७ दिवस)	२२०	–	१६०
६७२ तास ± ४ तास	(२८ दिवस)	–	–	३५०

ह्या कोष्टकावरून आपल्या लक्षात येईल, की सर्वसाधारण सिमेंटला जे बल ३ दिवसांत मिळावयाला हवे ते लवकर दृढ होणाऱ्या शीघ्र शक्तिदायी सिमेंटला २४ तासांतच मिळावयाला हवे. तसेच, अल्पोष्मदायी सिमेंट हळूहळूच बल कमावणार व ह्या सिमेंटच्या बलाबद्दलच्या अपेक्षा कमी दिवसांना माफकच आहेत.

जलसंयोगी उष्णतामान :

आता शेवटी जलसंयोगी उष्णतेचे मापन करण्याची पद्धत पाहू या. सिमेंटचा पाण्याशी संपर्क आल्यापासून त्यातल्या संयुगांचा जलसंयोग सुरू होतो. जलसंयोगाच्या रासायनिक विक्रिया उष्णदायी असल्यामुळे सारा वेळ उष्णता बाहेर फेकली जाते. भारतीय मानक विशिष्टीप्रमाणे अल्पोष्मदायी सिमेंटने पाण्याशी संपर्क आल्यापासून पहिल्या ७ व २८ दिवसांत अनुक्रमे ६५ व ७५ कॅलरी / ग्रॅम सिमेंट एवढीच किंवा यापेक्षाही कमी उष्णता बाहेर दिली पाहिजे.

इथे एका गोष्टीचा विचार करू या. पहिल्या ७ दिवसांत जर ६५ कॅलरी / ग्रॅम सिमेंट एवढी उष्णता चालेल असे म्हटले तर ह्यानंतर २१ दिवसांत फक्त १० कॅलरी-चीच भर कशी ? ह्याचे कारण असे की पहिल्या ७ दिवसांत जादा उष्णतादायी C_3A व C_3S ह्या संयुगांचा जलसंयोग फार मोठ्या प्रमाणावर झालेला असतो व त्यामुळे पहिल्या ७ दिवसांनंतर सिमेंटच्या दृढ पेस्टमधून थोडीच उष्णता बाहेर पडते.

ही उष्णता साध्या तपमापकाच्या साहाय्याने– म्हणजे तपमानाच्या वाढीवरून– मोजणे शक्यच नाही. तेव्हा हिचे मापन आडमार्गानेच करावे लागते. ह्याकरिता जलसंयोग न झालेले व ७ आणि २८ दिवस जलसंयोग झालेले असे सिमेंटचे नमुने आम्ल-मिश्रणात पुरे विद्रवू देतात व त्यांची विद्रविण्याची उष्णता मोजतात. या उष्णतेच्या फरकावरून जलसंयोगी उष्णता मिळते.

याकरिता ६० ग्रॅम सिमेंट २५ मि. लि. ऊर्ध्वपतित पाण्यामध्ये ४ मिनिटांपर्यंत कालवून वेगवेगळया तीन परीक्षानळयांमध्ये भरतात. या परीक्षानळयांना बुचे लावून व त्यांवर मेण लावून त्या बंद करतात व २७°±२° सें. या तपमानाला ठेवून देतात.

कॅलरीमापक म्हणून अदमासे ७० मि. मी. व्यास व १५० मि. मी. उंचीचा उष्णधानी शिसा आत पॅरॅफिन मेणाचा लेप देऊन वापरतात. या लेपामुळे हायड्रोफ्लुअरिक आम्लापासून (HF) शिशाला धोका पोहोचत नाही.

या कॅलरीमापकात विद्रावक म्हणून ९.६±०.१ मि. लि. हायड्रोफ्लुअरिक आम्ल (४० टक्के वजनी / वजनी) अधिक ३८८±०.१ मि. लि. नायट्रिक आम्ल (२±०.०५ सममूल्य) ओततात.

कॅलरीमापकाभोवती उष्णता निरोधकाची वलये असतात. त्यांच्यामुळे शिशातल्या विद्रावकाचे तपमान बाहेरील तपमानापेक्षा १° सें. ने जास्त असल्यास दर मिनिटाला विद्रावकाचे तपमान फक्त ०.००२° सें. इतकेच कमी होते. कॅलरीमापकाच्या बुचामधून विद्रावकामध्ये एक विद्युत् ढवळणी व एक "बेकमान" तपमापकाचे टोक बुडवून ठेवलेले असते, व याच बुचात सिमेंटची पूड आत सोडण्याकरिता एका भोकातून एक बारीक नसराळे आरपार रोवलेले असते.

आता जलसंयोग न झालेल्या सिमेंटचे ३.० ग्रॅम चूर्ण वरील नसराळयातून आत कॅलरी मापकात सोडतात व हे सिमेंट जसे आम्लमिश्रणात विद्रवते तसे तपमानातला होणारा फरक मोजून त्यावरून सिमेंटची विद्रवण्याची उष्णता मोजतात. याचवेळी याच सिमेंटचे ७.० ग्रॅम ९००° ते ९५०° सें. ला भाजतात व भाजल्यामुळे होणारी वजनातली घट काढतात. यावरून १ ग्रॅम घटस्वतंत्र सिमेंटमागे विद्रविण्याची उष्णता काढता येते.

आता ७ किंवा २८ दिवस जलसंयोग झालेला सिमेंटचा दृढ तुकडा काचनलिका फोडून बाहेर काढतात, आणि या तुकडयाची पूड करतात ती इतकी बारीक की पुडीचे सगळे कण ०.८५० मि. मी. पेक्षा लहान असतील.

या पुडीचे ४.२ ग्रॅम कॅलरीमापकात घालून त्यांची विद्रविण्याची उष्णता मोजतात. तसेच पुडीचे ७.० ग्रॅम ९००°–९५०° सें. तपमानाला भाजून त्यांच्या वजनातली घट काढतात व त्यावरून दर १ ग्रॅम घटस्वतंत्र सिमेंटमागे विद्रविण्याची उष्णता किती मिळाली हे काढतात.

दर ग्रॅम घटस्वतंत्र सिमेंटचा ७ किंवा २८ दिवस जलसंयोग झाल्यावर जी विद्रविण्याची उष्णता मिळाली तिच्यातला व जलसंयोग न झालेल्या सिमेंटच्या उष्णतेतला फरक हीच जलसंयोगाची उष्णता.

प्रकरण ५ वे

मिश्र बंधक व ॲल्यूमिनस सिमेंट

पोर्टलंड सिमेंटचा खंगर व इतर काही पदार्थ यांच्या चूर्णाच्या मिश्रणापासून काही सिमेंट्स बनवितात. त्यांची माहिती आता करून घेऊ.

आपण आधी पाहिलेच की पोर्टलंड सिमेंटमधील मुख्य संयुगे म्हणजे C_3S ($3CaO. SiO_2$) व C_2S($2CaO.SiO_2$); व यांच्या जलसंयोगामुळे जे शक्तिशाली सजल कॅल्शम सिलिकेट तयार होते ते म्हणजे $C_3S_2H_3$($3CaO. 2SiO_2. 3H_2O$). या सजल कॅल्शम सिलिकेटमध्ये चुना व सिलिका ह्यांचे रेणुभार प्रमाण ३ : १ किंवा २ : १ एवढेही नसून फक्त १।। : १ (३ : २)एवढेच आहे. म्हणून C_3S व C_2S या दोहोंच्या जलसंयोगाबरोबर सजल चुन्याची निर्मिती होते.

या सजल चुन्याच्या स्फटिकांचा दृढ सिमेंटच्या दमनबलामध्ये फारसा वाटा नाही. असे असताना सिमेंटच्या खंगरात C_3S व C_2S हीच जास्त प्रमाणात चुना, CaO असलेली संयुगे असण्याबद्दल आपला कटाक्ष का असावा ?

कच्च्या मालातले चुन्याचे प्रमाण जसजसे कमी करत जाऊ तसतशी खंगरात C_2S, C_3S_2, CS ही चुन्याचे प्रमाण कमी होत जाणारी संयुगे मिळतील. पण यापैकी C_3S_2($3CaO.2SiO_2$) व CS ($CaO. SiO_2$) या संयुगांचे स्फटिक पाण्याशी संपर्क आल्यावर त्यात विद्रवतही नाहीत व त्यांचा जलसंयोगही होत नाही. ती निष्क्रिय राहतात. म्हणूनच पोर्टलंड सिमेंटच्या कच्च्या मालाच्या पृथक्करणात चुन्याचे प्रमाण जास्त लागते.

परंतु चुन्याचे प्रमाण कमी असलेला कच्चा माल आपण जर जास्त तपमानापर्यंत नेऊन पार वितळवला व नंतर त्या उच्च तपमानातल्या द्रवरूप पदार्थाचा पाण्याशी संपर्क आणवून त्याचे तपमान झटक्यात खाली आणले तर त्या मालाचे द्रवरूप गोठवले जाते. त्यात स्फटिकीकरण न होता सर्व माल थिजलेल्या अवस्थेत, म्हणजेच काचेप्रमाणे अस्फटिकी राहतो. अशा अस्फटिकी चूर्णाचे पोर्टलंड सिमेंटच्या चूर्णाशी मिश्रण केले तर त्या मिश्रणचूर्णाचा जलसंयोग पोर्टलंड सिमेंटप्रमाणेच होतो. कारण पाण्याशी संपर्क आल्यावर त्या मिश्रणातल्या पोर्टलंड सिमेंटच्या कणांचा जलसंयोग लगेच सुरू

होतो. त्यामुळे सजल कॅल्शम सिलिकेट ($C_3S_2H_3$) व सजल चुना बनू लागतो. यापैकी सजल चुना $Ca(OH)_2$ पाण्यात थोड्याफार प्रमाणात विद्राव्य असल्याने तो पाण्यात विद्रवतो, पाणी अल्कधर्मी बनते व ह्या अल्कधर्मी पाण्याचा वरील अस्फटिकी काचरूपी कणांवर रासायनिक हल्ला चढून त्यापासून आणिकच शक्तिशाली सजल कॅल्शम सिलिकेट निर्माण होते.

म्हणजच पोर्टलंड सिमेंटपासून मुख्यत: शक्तिशाली सजल कॅल्शम सिलिकेट व काही प्रमाणात सजल चुना जलसंयोगामुळे मिळतात व वरील प्रकारच्या मिश्र सिमेंटपासून जरा जास्त प्रमाणात सजल कॅल्शम सिलिकेट व कमी प्रमाणात सजल चुना तयार होतो.

वरील प्रकारचा अस्फटिकी काचमय पदार्थ मुद्दाम कोणी सिमेंट तयार करण्याकरिता भाजून बनविलेला नाही.* पण लोहधातुपाषाणापासून लोखंड तयार करण्याला जी झोतभट्टी वापरतात, तिच्यामधून अशा तऱ्हेच्या रासायनिक पृथक्करणाची द्रवरूप धातुमळी उपफल म्हणून मिळू शकते. या धातुमळीपासून जे सिमेंट बनवितात त्याचा आपण विचार करू या.

(* भारतात ए. सी. सी. चे याबद्दल एक पेटंट आहे.)

पोर्टलंड झोतभट्टी धातुमळी सिमेंट :

झोतभट्टीमध्ये लोहधातुपाषाण (मुख्यत: आयर्न ऑक्साइड, Fe_2O_3) व दगडी कोळसा यांचे मिश्रण हवेच्या झोताबरोबर सुमारे १६००° सें. पर्यंत भाजतात. यामध्ये आयर्न ऑक्साइड व दगडी कोळशातला कार्बन यांचा संयोग होऊन कार्बन द्वि-ऑक्साइड CO_2 व कार्बन एक– ऑक्साइड CO हे वायू तयार होतात. याबरोबरच धातुपाषाणाचे क्षपण होऊन वितळलेले लोह द्रव स्वरूपात खाली साठते. लोहधातुपाषाणात ज्या अशुद्धी असतात, त्या लोहापासून अलग करणे जरूर आहे. ह्या अशुद्धी मातीच्या धर्माच्या, म्हणजे मुख्यत: सिलिका SiO_2 व ॲल्यूमिना Al_2O_3, असतात. ह्या नुसत्या SiO_2 / Al_2O_3 मिश्रणांचे वितळण्याचे तपमान झोतभट्टीतल्या लोहाच्या तपमानापेक्षा बरेच जास्त आहे. तांत्रिकदृष्ट्या ह्या घन अशुद्धी द्रव लोहामधून अलग करणे कठीण आहे. म्हणून झोतभट्टीमध्ये लोहधातुपाषाण व दगडी कोळसा यांबरोबरच चुनखडक ($CaCO_3$) किंवा डोलोमिटिक ($CaCO_3$–$MgCO_3$) चुनखडक घालतात. चुनखडकातला CO_2 वायू झोतभट्टीमध्ये गरम तपमानाला उडून जातो व उरलेल्या चुन्याचा SiO_2 व Al_2O_3 बरोबर वितळलेला हलका मिश्रस्तर (म्हणजच धातुमळी), द्रवरूप लोहाच्या जड स्तरावर तरंगत राहतो. या वरच्या स्तरामध्ये दगडी कोळशातला सल्फर, S सुद्धा विद्रवून लोहापासून अलग केला जातो.

ज्याप्रमाणे भट्टीच्या खालच्या अंगाने द्रवरूप लोह मधूनमधून बाहेर काढत राहतात, त्याप्रमाणे लोहावरची द्रवरूप धातुमळीसुद्धा बाहेर काढतात. दर टन लोहामागे सुमारे अर्धा टन धातुमळी मिळते. अर्थात् लोह व धातुमळी यांचे प्रमाण लोहधातु-पाषाणातल्या अशुद्धींच्या प्रमाणावर अवलंबून आहे.

(या धातुमळीचा सिमेंटसाठी उपयोग करणे नसेल तर ती नुसती ओतून टाकून देतात, व तिचे त्या ठिकाणी डोंगर साठतात. धातुमळी हळूहळू थंड होऊन तिच्यामध्ये घनीकरणानंतर मेलिलाइट C_2AS–C_2MS_2, C_2S, अॅनॉर्थाइट C_2AS वगैरेंचे तिच्या रासायनिक घटनेप्रमाणे स्फटिक बनतात. या थंड झालेल्या धातुमळीच्या दगडांचा फार तर कॉंक्रीटमध्ये खडी म्हणून उपयोग होऊ शकतो.)

जिथे या धातुमळीचा सिमेंट बनविण्यासाठी उपयोग करणे असेल तिथे हिचे तपमान पाण्याच्या झोताने एकदम कमी करून "दाणेदार झोतभट्टी-धातुमळी" बनवितात. या दाणेदार धातुमळीची आंतररचना काचेप्रमाणेच अस्फटिकी असते. तिच्यापासून आणि पोर्टलंड सिमेंटचा खंगर व जिप्सम यांपासून प्रस्तुतचे पोर्टलंड झोतभट्टी-धातुमळी सिमेंट मिळते. या सिमेंटच्या मर्यादा भारतीय मानक विशिष्टी ४५५ मध्ये दिलेल्या आहेत, त्यांचा आपण विचार करू या.

वरील दाणेदार धातुमळी एकदा सुकवली म्हणजे पोर्टलंड सिमेंटचा खंगर व जिप्सम यांच्याबरोबर ती एकत्र दळता येते. किंवा हे सगळे पदार्थ वेगवेगळे दळून नंतर त्यांचे एकविध मिश्रण करता येते. या दुसऱ्या पद्धतीत तीन पदार्थ वेगळे दळणे व नंतर त्यांचे मिश्रण करणे या जरा जास्त कटकटीच्या गोष्टी आहेत. परंतु या पद्धतीत प्रत्येक पदार्थ आपणाला वास्तविक गुणधर्मांच्या दृष्टीने पाहिजे तितक्या सूक्ष्मतेपर्यंत दळता येतो. अशा सिमेंटमध्ये धातुमळीचे प्रमाण किमान २५ टक्के व कमाल ६५ टक्के या मर्यादेत हवे.

सिमेंटच्या रासायनिक गुणधर्मांच्या मर्यादा व तुलनेकरता सर्वसाधारण पोर्टलंड सिमेंटच्या मर्यादा खालीलप्रमाणे आहेत.

	कमाल मर्यादा %	
	पोर्टलंड झोतभट्टी धातुमळी सिमेंट (विशिष्टी ४५५)	**सर्वसाधारण पोर्टलंड सिमेंट (विशिष्टी २६९)**
MgO	८.०	६.०
अविद्राव्य अवशेष	१.५	२.०
ज्वलनांती घट	४.०	४.०
SO_3	३.०	—
सल्फाइड सल्फर S''	१.५	—
सल्फर गणितागत SO_3	—	२.७५

येथे MgO ची कमाल मर्यादा जरा जास्त आहे. कारण दाणेदार धातुमळीमध्ये MgO चे प्रमाण जास्त असले तरी MgO चे रेणू अस्फटिकी अवस्थेत इतर घटकांबरोबर एकजीव मिश्रण झालेले असल्याने त्यांच्यापासून दृढ सिमेंटच्या प्रसरणाचा धोका नाही.

तसेच, या धातुमळीमध्ये जो थोडासा सल्फर (क्षपित स्वरूपात असलेला) येऊ शकतो व जो धोकादायक नसतो तो १.५ टक्के पर्यंत असण्याची परवानगी दिलेली आहे.

धातुमळीच्या रासायनिक पृथक्करणाबद्दल मर्यादा विशिष्टीमध्ये दिलेल्या नाहीत. पण धातुमळीमध्ये वेगवेगळी ऑक्साइड घटके कोणत्या मर्यादात सापडतात हे माहितीकरिता दिलेले आहे.

SiO_2	२७ ते ३२ %
Al_2O_3	१७ ते ३१ "
FeO	० ते १ "
CaO	३० ते ४० '
MgO	० ते १७ "
सल्फाइड S''	० ते २ "

धातुमळीत जर मँगनीज ऑक्साइड २ टक्के पेक्षा जास्त असेल तर त्याचे काही वाईट परिणाम होत नाहीत ना याचे अन्वेषण करावे असे म्हटलेले आहे.

या सिमेंटच्या वास्तविक गुणधर्मांच्या दिलेल्या मर्यादा सर्वसाधारण पोर्टलंड सिमेंटसारख्याच आहेत. परंतु या सिमेंटमध्ये जोड रासायनिक विक्रिया असल्यामुळे याला दृढ होऊन पुरे बल प्राप्त होण्याला जरा जास्त वेळ लागतो. मात्र यात सजल चुन्याऐवजी टोबरमोराइट जेलच जास्त प्रमाणात असल्याने जास्त कालानंतर पोर्टलंड सिमेंटपेक्षा जास्त बल मिळू शकते.

इतक्या वेगळ्या रासायनिक पृथक्करणाच्या पदार्थापासून पोर्टलंड सिमेंटशी मिश्रण केल्यावर पोर्टलंड सिमेंटच्याच वास्तविक गुणधर्मांचे दृढ सिमेंट मिळते ही एक विस्मयाची गोष्ट आहे.

धातुमळीमध्ये Al_2O_3 चे प्रमाण जेवढे कमी तेवढी या सिमेंटची जलसंयोगी उष्णता पोर्टलंड सिमेंटचे मानाने कमी. पण भारतीय लोहधातुपाषाणात सर्वसाधारण-पणे Al_2O_3 चे प्रमाण जास्त आहे व त्यामुळे अशा धातुमळीपासून तयार केलेल्या सिमेंटची जलसंयोगी उष्णता फार कमी असत नाही.

पोर्टलंड पोझोलॅना सिमेंट :

पोर्टलंड सिमेंटपासून तयार केलेले आणखी एक मिश्र सिमेंट म्हणजे पोर्टलंड पोझोलॅना सिमेंट. पोझोलॅना म्हणजे ज्यामध्ये उद्भूत सिमेंटचे गुणधर्म नाहीत पण ज्याचे बारीक चूर्ण केले तर त्याचा ओल्या स्थितीत सजल चुन्याशी संबंध आल्यावर रासायनिक क्रिया घडून सिमेंटप्रमाणे गुणधर्म असलेले सजल कॅल्शम सिलिकेट मिळेल असा कोणताही विक्रियाशील वालुयुक्त पदार्थ. (विक्रियाशील सिलिका व चुना यांचा जलसंयोग पुरेशा वेगाने होण्याकरिता पोझोलॅनाचे विशिष्ट क्षेत्र जास्त पाहिजे.) म्हणजेच, येथेही पोर्टलंड सिमेंटच्या जलसंयोगामुळे जो सजल चुना तयार होतो, त्याच्या पोझोलॅनाशी होणाऱ्या रासायनिक विक्रियांमुळे आणखी सजल कॅल्शम सिलिकेट तयार होते.

ह्या दृष्टीने पोर्टलंड झोतभट्टी धातुमळी सिमेंट व पोर्टलंड पोझोलॅना सिमेंट ह्या दोहोंमध्ये पोर्टलंड सिमेंट खंगरापासून मिळणाऱ्या जादा CaO चा जलसंयोगाच्या वेळी एकाच तऱ्हेने उपयोग करून घेतला जातो. मुख्य फरक म्हणजे धातुमळीमध्ये-सुद्धा CaO चे प्रमाण बरेच असल्यामुळे त्या सिमेंटमध्ये धातुमळीचे प्रमाण २५ टक्के ते ६५ टक्के पर्यंतसुद्धा ठेवता येते. उलट, पोझोलॅना सिमेंटमध्ये पोझोलॅनाचे प्रमाण कमी ठेवणे जरूर आहे. भारतीय मानक विशिष्टी १४८९ मध्ये पोर्टलंड पोझोलॅना सिमेंटमध्ये पोझोलॅनाच्या मर्यादा फक्त १० टक्के ते २५ टक्के इतक्याच आहेत.

पोझोलॅना म्हणून डायअॅटोमेशस माती, ओपलाइन चर्ट व शेल, टफ, ज्वाला-मुखी रक्षा किंवा प्यूमिसाइट वगैरे नैसर्गिक पदार्थ वापरतात. तसेच, कॅओलिनाइट, मॉंटमॉरिलोनाइट, इलाइट वगैरे तऱ्हांच्या माती सुमारे ६००° सें. पर्यंत भाजून पोझोलॅना तयार करून वापरतात.

आधुनिक उष्णीय वीज स्थानांमध्ये कोळशाच्या भुकटीचा इंधन म्हणून जास्त जास्त उपयोग केला जात आहे. त्यामध्ये खूपच प्रमाणात उडती रक्षा उपफल म्हणून मिळते. ही रक्षा पोझोलॅना म्हणून वापरता येते. अर्थात हिचा असा उपयोग करणे असेल तर तिचे विशिष्ट पृष्ठक्षेत्र व रासायनिक गुणधर्म स्थिर हवेत.

सर्वसाधारणपणे पोझोलॅनामध्ये निम्मा भाग सिलिका व उरलेले Al_2O_3, Fe_2O_3, CaO, MgO वगैरे इतर ऑक्साइड घटक अस्फटिकी म्हणून क्रियातुर स्थितीत असतात.

पोर्टलंड पोझोलॅना सिमेंट तयार करण्याच्या दोन पद्धती :

(१) पोर्टलंड सिमेंट व पोझोलॅनाचे चूर्ण यांचे एकविध मिश्रण करणे.

(२) पोर्टलंड सिमेंट खंगर, जिप्सम व पोझोलॅना एकत्र दळणे.

ज्या पोझोलॅनाचे चूर्णाचे पोर्टलंड सिमेंटशी मिश्रण करणे असेल त्या पोझोलॅनाच्या चूर्णाच्या विशिष्टी १४८९ मध्ये पुढील दोन मर्यादा दिलेल्या आहेत :

(अ) चूर्णाचे पृष्ठक्षेत्र : ३२०० चौरस सें. मी. / ग्रॅ. (किमान)

(ब) चुन्याशी विक्रियाशीलता : ही परीक्षा विशिष्टी १७०७ प्रमाणे करणे. हिच्यामध्ये चुना $Ca(HO)_2$, पोझोलॅना व प्रमाणित वाळू यांचे वजनी १ : २ म : ९ $\left(म = \frac{\text{पोझोलॅनाचे विशिष्टगुरुत्व}}{\text{चुन्याचे विशिष्टगुरुत्व}} \right)$ या प्रमाणात मिश्रण घेऊन त्यात एका ठराविक पद्धतीने पाणी कालवून ते ५० मि. मी. बाजू असलेल्या त्रिमात्र साच्यात ठासून भरतात. साच्यातून दृढ झालेले त्रिमात्र ठोकळे ४८ तासांनी काढून त्यानंतर ८ दिवसांनी त्यांचे दमन बल मोजतात.

हे बल किमान ४० कि. ग्रॅ. / चौरस सें. मी. इतके हवे. एवढे बल मिळाल्यास पोझोलॅना पुरेसा विक्रियाशील असून (त्यातला सिलिका पुरेसा क्रियातूर असून) ह्यापासून चांगले पोर्टलंड पोझोलॅना सिमेंट मिळेल असे धरून चालण्यास हरकत नाही.

जर पोर्टलंड सिमेंटचा खंगर व पोझोलॅना एकत्र दळणे असेल तर पोझोलॅनावर वरील पृष्ठक्षेत्राची मर्यादा नाही. परंतु चुन्याशी विक्रियाशीलतेची मर्यादा लागू आहे. ह्याकरिता पोर्टलंड पोझोलॅना सिमेंटचे जेवढे पृष्ठक्षेत्र ठेवणे असेल, तितक्या पृष्ठक्षेत्रापर्यंत पोझोलॅना दळला पाहिजे. परंतु सुरुवातीलाच जर पोझोलॅनाचे पृष्ठक्षेत्र जास्त असेल तर या जास्त पृष्ठक्षेत्राचा पोझोलॅना वरील परीक्षेला वापरतात.

विशिष्टी १४८९ मध्ये या सिमेंटच्या पुढील रासायनिक मर्यादा दिलेल्या आहेत.

% कमाल मर्यादा

	पोर्टलंड पोझोलॅना सिमेंट (विशिष्टी १४८९)	सर्वसाधारण पोर्टलंड सिमेंट (विशिष्टी २६९)
ज्वलनान्ती घट	५.०	४.०
MgO	६.०	६.०
SO_3	२.७५	२.७५
अविद्राव्य अवशेष	$क्ष + \frac{१.५(१००-क्ष)^*}{१००}$	२.०

*(क्ष=सिमेंटमध्ये पोझोलॅनाचे % प्रमाण
=१० ते २५)

या मिश्र सिमेंटमध्ये ज्वलनान्ती घट व अविद्राव्य अवशेष यांच्या मर्यादा पोर्टलंड सिमेंटपेक्षा जास्त ठेवण्यात आल्या आहेत, कारण वेगवेगळ्या तऱ्हेच्या पोझोलॅनाकडून या दोन्ही बाबी जास्त प्रमाणात मिळू शकतात.

तसेच वास्तविक गुणधर्माबद्दल पुढील दोन मर्यादाबाबतच फरक आहे.

% किमान मर्यादा

	पोर्टलंड पोझोलॅना सिमेंट (विशिष्टी १४८९)	सर्वसाधारण पोर्टलंड सिमेंट (विशिष्टी २६९)
पृष्ठक्षेत्र चौरस सें. मी. / ग्रॅ.	३०००	२२५०
दमनबल कि.ग्रॅ./चौरस सें. मी.		
३ दिवसांनंतर	——	१६०
७ दिवसांनंतर	२२०	२२०
२८ दिवसांनंतर	३२०	——

जलसंयोगाचा वेग पुरेसा होण्याकरिता या मिश्र सिमेंटचे पृष्ठक्षेत्र जास्त हवे व तरीसुद्धा याचे बल कमी वेगाने वाढण्याचा संभव असल्यामुळे या बाबतीत ३ दिवसांची मर्यादा या सिमेंटला नाही.

अधिक सल्फेटेड सिमेंट :

दाणेदार झोतभट्टीची धातुमळी, कॅल्शम सल्फेट व थोडासा भाग पोर्टलंड सिमेंट वा पोर्टलंड सिमेंटचा खंगर (किंवा चुनादायी दुसरा पदार्थ) यांचे बारीक दळलेले मिश्रण म्हणजेच अधिक सल्फेटेड सिमेंट. याचे बलविषयक व इतर वास्तविक गुणधर्म पोर्टलंड सिमेंटशी तुल्य असतात, परंतु जलसंयोगी उष्णता नेहमी बरीच कमी म्हणजे ७ दिवसांना ६० कॅलरी / ग्रॅम व २८ दिवसांना ७० कॅलरी / ग्रॅम असते.

दाणेदार झोतभट्टीची धातुमळी हा एक प्रमुख घटक असलेले हे सिमेंट रासायनिक हल्ल्यांना व विशेषतः सल्फेटच्या हल्ल्याला चांगला रोध करू शकते. म्हणूनच जेथे सिमेंट कॉंक्रीटच्या बांधकामाचा खाऱ्या किंवा मचूळ पाण्याशी संपर्क येणार असेल, (उदा०– बांधकामाच्या पायामध्ये किंवा रासायनिक कारखान्यात) तिथे परदेशात हे सिमेंट वापरत आहेत. भारतातसुद्धा याचा प्रसार होईल असे वाटल्यावरून या विषयावर मानक विशिष्टी ६९०९ नुकतीच प्रसिद्ध झाली.

यामध्ये जलसंयोगानंतर एंट्रिगाइट – $3CaO.Al_2O_3.3CaSO_4.31H_2O$ हे प्रमुख संयुग तयार होते. ह्या जलसंयोगाच्या रासायनिक विक्रिया होण्याकरिता पाणी अल्कधर्मी असण्याची जरुरी आहे. हा अल्कधर्म पोर्टलंड सिमेंटमुळे मिळतो.

ह्यात जिप्सम $CaSO_4, 2H_2O$ ऐवजी निर्जल कॅल्शम सल्फेट $CaSO_4$ वापरतात. शुद्ध जिप्सम ५००° ते ७००° सें. तपमानापर्यंत भाजल्यास येथे लागणारे निर्जल $CaSO_4$ मिळते. औद्योगिक उपफल म्हणूनसुद्धा हे द्रव्य उपलब्ध होऊ शकते.

सिमेंटच्या या प्रकाराबद्दल भारतीय मानक विशिष्टी ६९०९ प्रमाणे यामध्ये किमान वजनी ७० टक्के तरी सुकी दाणेदार झोतभट्टीची धातुमळी हवी. तसेच जर यातले घटक वेगवेगळे दळून नंतर त्यांचे एकत्रित मिश्रण करणे असेल तर प्रत्येक घटक पुरा दळला पाहिजे.

याचे आवश्यक रासायनिक व वास्तविक गुणधर्म पुढीलप्रमाणे :

अविद्राव्य अवशेष	४ टक्के कमाल
MgO	१० टक्के कमाल
सल्फ्यूरिक ॲनहायड्राइड–SO_3	६ टक्के किमान
सल्फाइड सल्फर S''	१.५ टक्के कमाल
विशिष्ट पृष्ठक्षेत्र (ब्लेन)	४००० चौरस सें. मी. / ग्रॅ. किमान
समांगता (ल शॅतेलिए)	५ मि. मी. कमाल प्रसरण.

(फक्त २७°±२° सें. तपमानाला २४ तास ठेवून)

घट्ट होण्याचे प्रारंभिक व अंतिम काळ ३० व ६०० मिनि अनुक्रमे – किमान व कमाल

दमनबल :

७२ ± १ तास	१५० कि. ग्रॅ / चौरस सें. मी. किमान
१६८ ± २ तास	२२० कि. ग्रॅ / चौरस सें. मी. किमान
६७२ ± ४ तास	३०० कि. ग्रॅ / चौरस सें. मी. किमान

० ० ० ० ०

ॲल्यूमिनस सिमेंट :

पोर्टलंड सिमेंटपेक्षा वेगळ्या तऱ्हेचे हे सिमेंट १९१३ साली प्रथम उपयोगात आले, आणि पोर्टलंड सिमेंटपेक्षा जरी हे तिप्पट महाग होते तरी हे उत्कृष्ट नमुनेदार जलसंयोगी बंधक आहे असे प्रथम वाटले; कारण ४ आठवड्यांनंतर पोर्टलंड सिमेंट जे बल कमावते तेवढे बल ह्या सिमेंटमध्ये केवळ २४ तासांच्या जलसंयोगकाळानेच प्राप्त होते. दुसरे कारण म्हणजे, रासायनिक संयोगाकरिता ह्या सिमेंटला पाण्याची जरुरी पोर्टलंड सिमेंटपेक्षा जवळजवळ दुप्पट, म्हणजे सुमारे ५५ टक्के वजनी, असल्यामुळे याच्या पेस्टमध्ये पाणी / सिमेंट गुणोत्तर जास्त ठेवून कॉंक्रीट मिश्रणाची सुकरता वाढवून ते ओतण्यास सोपे पडते. तिसरे म्हणजे, पोर्टलंड सिमेंटपेक्षा रासायनिक हल्ल्यांना हे सिमेंट जास्त चांगल्या तऱ्हेने तोंड देऊ शकते. परंतु उष्ण प्रदेशात तरी हे सिमेंट वापरण्यास धोकादायक आहे असे सिद्ध झाले आहे.

ह्यामध्ये $3CaO.Al_2O_3$ (C_3A) पेक्षा कमी चुना असलेली कॅल्शम ॲल्यूमिनेट्स असतात. ती म्हणजे $CaO.Al_2O_3$ (CA) व $12CaO.7Al_2O_3$ ($C_{12}A_7$) ही होत. ह्या सिमेंटचे सर्वसाधारण रासायनिक पृथक्करण पुढील-प्रमाणे :

SiO_2	३–११ टक्के
Al_2O_3	३३–४४ ,,
CaO	३५–४४ ,,
Fe_2O_3	४–१२ ,,
FeO	०–१० ,,

ह्याच्या जलसंयोगामुळे $CaO.Al_2O_3.10H_2O$ (CAH_{10}) व $2CaO.Al_2O_3.8H_2O$ (C_2AH_8) हे सजल कॅल्शम ॲल्यूमिनेट व सजल ॲल्यूमिना ($Al_2O_3.3H_2O$) मिळतात.

ह्या सिमेंटबद्दल आतापर्यंत बराच भ्रमनिरास झालेला आहे. कारण जलसंयोगानंतर हे सिमेंट सुमारे २५° सें. पर्यंत किंवा जास्त तपमानाला व आर्द्र हवेमध्ये कधी जर राहिले तर त्याचे दमनबल भयंकर (म्हणजे ५० ते ८० टक्केसुद्धा) खालावते व त्यामुळे दुर्धर प्रसंग ओढवू शकतात. ह्या जरा बरच्या तपमानाला वरील सजल कॅल्शम ॲल्यूमिनेट अस्थिर असून पुढील रासायनिक विक्रिया होते.

$$3(2CaO.Al_2O_3.8H_2O) \rightarrow 2(3CaO.Al_2O_3.6H_2O) + Al_2O_3.3H_2O + 9H_2O.$$

C_2AH_8 व C_3AH_6 या दोन सजल कॅल्शम ॲल्यूमिनेट्सचे विशिष्टगुरुत्व १.८ व २.५ एवढे वेगळे आहे. म्हणूनच या अवस्थाबदलामध्ये दृढ सिमेंटचे बरेच आकुंचन होऊन त्याला तडे जातात.

हल्लीहल्लीच ब्रिटनमध्ये लक्षात आले आहे की २५° सें. पेक्षाही कमी तपमान असतानासुद्धा ठिकठिकाणी बांधकामामध्ये वरीलप्रमाणे दमनबल क्षयाचा धोका उद्भवला आहे.

चुनखडक व बॉक्साइट यांपासून मिश्रण १५००° सें. १६००° सें. तपमानाला पुरे वितळवून किंवा त्यापेक्षा कमी तपमानाला पुरे भाजून हे सिमेंट बनवले जाते. भारतीय मानक विशिष्टी ६४५२ मध्ये ह्या सिमेंटच्या बांधकामाकरिता उपयोग करण्याबद्दल सूचना दिलेल्या आहेत :

(अ) जर वातावरणाचे तपमान कधीसुद्धा १८° सें. पेक्षा जास्त जाणार असेल तर हे सिमेंट वापरू नये.

(ब) ह्याची जलसंयोगी उष्णता जास्त असल्याने (व हे वेगाने जलसंयोग पावत असल्याने) अवजड बांधकामात हे वापरू नये. कारण त्यामुळे बांधकामाच्या आतल्या भागाचे तपमान १८ सें. पेक्षा वर जाईल.

(क) $CaCl_2$ वगैरे जलसंयोग प्रवेगकर समावेशक ह्यात मिसळू नयेत.

विशिष्टी ६४५२ प्रमाणे ह्या सिमेंटबाबत मर्यादा पुढीलप्रमाणे :

Al_2O_3	३२ टक्के वजनी किमान
विशिष्ट पृष्ठक्षेत्र	२२५० चौरस सें. मी. / ग्रॅ. (किमान)
समांगता (ल शॅतेलिए)	५ मि. मी. (कमाल)

घट्ट होण्याचा काळ	
प्रारंभिक	३० मिनिटे (किमान)
अंतिम	१० तास (कमाल)
दमनबल (पकविण्याचे तपमान १८ ± २° सें.)	
२४ तास ± ३० मिनिटे	३०० कि. ग्रॅ. / चौरस सें. मी. (किमान)
७२ तास ± १ तास	३५० कि. ग्रॅ. / चौरस सें. मी. (किमान), व २४ तासापेक्षा यात वाढ हवी.

अत्यंत निकडीची दुरुस्ती करणे असेल (उदा०– विमानतळावरील धावपट्टी) तेथे हे सिमेंट उत्तम; कारण दुरुस्तीनंतर केवळ काही तासांतच अवजड विमानसुद्धा त्यावरून जाऊ शकेल.

अग्निजित विटा वगैरेंचे अत्यंत वरच्या तपमानाकरिता (सुमारे १०००° सें.) बांधकाम करणे असेल, त्याकरिता ह्या बंधकाचा फारच उपयोग होतो.

पोर्टलंड व ॲल्यूमिनस ह्या सिमेंटांचे मिश्रण लवकर घट्ट होते. पण त्या मिश्र सिमेंटचे दमनबल दोन्ही सिमेंटच्या बलापेक्षा कमीच राहते.

पोर्टलंड सिमेंटचे प्रकार, मिश्र सिमेंट व ॲल्यूमिनस सिमेंट यांचे गुणधर्म एकत्रित कोष्टक क्र. ५ : १ मध्ये दिलेले आहेत.

कोष्टक ५:१ विविध प्रकारच्या सिमेंटच्या गुणधर्मांच्या मर्यादा

	पोर्टलंड सिमेंट			मिश्र सिमेंट			ॲल्यूमिनस सिमेंट
	सर्वसाधारण	जलद दृढ होणारे	अल्पोष्मदायी	पोर्टलंड झोत-भट्टी धातुमळी	पोर्टलंड पोझोलॅना	अधिक सल्फेटेड	
भारतीय मानक विशिष्टी	२६९:१९६७	२६९:१९६७	२६९:१९६७	४५५:१९६७	१४८९:१९६७	६९०९:१९७३	६४५२:१९७२
विशिष्ट पृष्ठक्षेत्र,							
चौरस सें. मी. / ग्रॅ. (किमान)	२२५०	३२५०	३२००	२२५०	३०००	४०००	२२५०
गठणाचा काल, मिनिटे,							
प्रारंभिक (किमान)	३०	३०	६०	३०	३०	३०	३०
अंतिम (कमाल)	६००	६००	६००	६००	६००	६००	६००
दमनबल, किलो ग्रॅ./चौरस सें. मी. (किमान)							
१ दिवसाने	—	१६०	—	—	—	—	३००
३ दिवसांनी	१६०	२७५	७०	१६०	—	१५०	३५०
८ ,,	२२०	—	११५	२२०	२२०	२२०	—
२८ ,,	—	—	२६५	—	३२०	३००	—

समांगता :

ल शॅतेलिए प्रसरण, मि. मी. (कमाल)	१०	१०	१०	१०	१०	५ (थंड)	५
ऑटोक्लेव्ह ,, ,, ,,	०.८	०.८	०.८	०.८	०.८	—	—
धातुमळीचे प्रमाण, %	—	—	—	२५–६५	—	७० (किमान)	—
पोझोलॅनाचे ,, %	—	—	—	—	१०–२५	—	—
अविद्राव्य अवशेष, % (कमाल)	२.०	२.०	२.०	१.५	कमाल ४.० पोझोलॅनाचे प्रमाणात	—	—
MgO, % ,,	६.०	६.०	६.०	८.०	६.०	१०	—
SO_3, % ,,	२.७५	२.७५	२.७५	३.०	२.७५	६	—
ज्वलनान्ती घट, % ,,	४.०	४.०	४.०	४.०	५.०	—	—

प्रकरण ६ वे

सिमेंट मॉर्टर व काँक्रीट

सिमेंट म्हणजे बंधक. जेव्हा आपण सिमेंटचा गिलावा करतो, किंवा सिमेंटचे धरण, रस्ता , घर वगैरे बांधतो तेव्हा ही सर्व फक्त सिमेंटचे चूर्ण व पाणी यांपासून बांधत नाही. मॉर्टरच्या गिलाव्यामध्ये सिमेंट पेस्ट व वाळू अेकत्र कालवलेली असतात. धरण, रस्ता, घर वगैरेंमध्ये जाडीचे बांधकाम करताना सिमेंट पेस्टबरोबर मोठी व लहान आकाराची खडी व वाळू यांचा मिलावा एकत्र कालवून काँक्रीटच्या स्वरूपात सिमेंट वापरतात.

फक्त सिमेंटच्या पेस्टपासूनच ही सर्व बांधकामे का पुरी करत नाहीत ? त्यात वाळू व खडीचे मिश्रण कशाकरिता ? मुख्य एकदोन कारणे म्हणजे सिमेंटची किंमत वाळू, खडी वगैरेच्या मानाने फारच जास्त आहे; व दुसरे म्हणजे नुसत्या दृढ सिमेंटची शिळा वाळल्यावर फार मोठे आकुंचन होऊन तिला भेगा पडून शक्तिपात होईल. सिमेंटचा मॉर्टर व काँक्रीट यांचा आता आपण विचार करू या.

गवंडी कामाकरिता मॉर्टर (भारतीय मानक विशिष्टी २२५०) :

यामध्ये बंधक म्हणून सिमेंट, चुना किंवा दोन्हींचे मिश्रण वापरतात, व त्यामध्ये पोझोलॅनासुद्धा कधीकधी मिसळतात. मिलावा म्हणून वाळू, भाजलेली भरड माती कवा अंगारक (कोळपलेला कोळसा) सुद्धा वापरतात.

मॉर्टरमध्ये बंधक : वाळू यांचे प्रमाण साधारणतः १:३ (आकारमानी) असे असते. मॉर्टरमध्ये जास्तीत जास्त दमनबल हवे असल्यास बंधक म्हणून फक्त सिमेंट वापरतात. बंधकात चुन्याचे प्रमाण जितके वाढवू तितके दृढ मॉर्टरचे दमनबल कमी मिळते. जेथे मॉर्टरकामाचे पोलादी कांबी घालून प्रबलन करणे असेल तेथे बंधक म्हणून फक्त सिमेंटच वापरणे योग्य.

मॉर्टर तयार करताना पुढील गोष्टी लक्षात घेतात :

(अ) गवंडी काम कोणत्या प्रकारचे आहे ? दगडकाम, वीटकाम, काँक्रीट ठोकळ्यांचे काम यांमध्ये बंधक म्हणून मॉर्टर वापरणे आहे, किंवा गिलाव्याच्या

कामाकरिता मॉर्टर वापरणे आहे. पोलादी कांबी घालून गवंडीकामाचे प्रबलन करण आहे काय?

(ब) गवंडीकामावर नंतर पडणारा बोजा (व त्याप्रमाणे आवश्यक दमनबल.)

(क) मॉर्टर उघड्यावर किंवा जमिनीखाली राहणार काय? म्हणजेच, त्यावर हवा, पाणी वगैरेंच्या संपर्कामुळे होणारे संभाव्य परिणाम.

(ड) मिलावा कोणता उपलब्ध आहे? वाळू, भाजलेली भरड माती, किंवा अंगारक. मिलाव्याची कणांच्या विस्ताराप्रमाणे प्रतवारी कशी आहे?

(इ) मॉर्टरमध्ये इतर काही रसायनांचे अधिमिश्रण करणे जरूर आहे काय? (उदा० वायु वंधक द्राव).

वरील सर्व गोष्टी विचारात घेऊन व अनुभवान्ती मॉर्टर कोणता असावा हे ठरवतात.

मॉर्टर तयार करताना प्रथम सिमेंट व वाळू कोरड्या स्थितीत पुरे मिसळून त्यात नंतर पाणी कालवतात. मॉर्टरची संघनता किती हवी यावर पाण्याचे प्रमाण अवलंबून आहे. मॉर्टर थापताना पुरेसे तरल हवे, परंतु ते फार तरल असेल तर गठणाआधी त्यातले पाणी वर येऊन घन कण खाली बसतील व मॉर्टरचे आकारमान कमी होईल. अशा विभक्तीकरण होऊन वर आलेल्या पाण्यामुळे सिमेंट मॉर्टरचा विटा, दगड वगैरेंशी दुवा कमकुवत होईल.

जेथे मॉर्टरवर नंतर भार पडणे असेल, तेथे मॉर्टर जास्त घट्ट हवे. तसेच जेथे मॉर्टरमधले पाणी शोषून घेतले जाण्याची शक्यता आहे (उदा० सच्छिद्र विटांमुळे) तेथे मॉर्टरची जलधारण–क्षमता किती आहे हे मोजून त्याबरहुकूम पाण्याचे प्रमाण ठरविणे जरूर आहे.

० ० ० ० ०

कॉंक्रीट :

कोठलेही कमी जाडीचे बांधकाम करणे असल्यास (उदा०– गिलावा, दोन विटा / दगड यांना जोडकाम) सिमेंटमध्ये वाळू कालवून मॉर्टर वापरतात. जास्त जाडीच्या बांधकामाला त्यात खडी घालून कॉंक्रीट वापरतात. जितकी बांधकामाची जाडी जास्त तितके खडीतल्या मोठ्या दगडांचे आकारमान मोठे.

कल्पना अशी, की कॉंक्रीटमधल्या सर्वात मोठ्या आकाराच्या खडीचा ढीग केला की त्यात ज्या मोकळ्या जागा राहतील त्या जागा खडीच्या लहान दगडांनी

भरल्या जातील. आता ह्या मोठ्या / लहान दगडांचे मिश्रणात ज्या पोकळ्या राहतील त्या वाळूच्या मोठ्या/लहान कणांनी भरल्या जातील, व ज्या लहानलहान आकाराच्या पोकळ्या राहतील त्या सिमेंटच्या पेस्टने भरल्या जातील.

म्हणजेच नमुनेदार श्रेणीकृत काँक्रीट मिलाव्यामध्ये वेगवेगळ्या विस्ताराच्या दगड व वाळूच्या कणांचे एकूण आकारमानाचे प्रमाण सबंध बांधकामात असे जास्तीत जास्त हवे, की कणांमधल्या पोकळ्यांचे एकूण आकारमान कमीतकमी राहील, व सिमेंटची गरजही कमीतकमी राहील.

खडी व वाळूचे तुकडे नैसर्गिकरीत्या मिळालेले असू शकतील किंवा ते मोठ्या शिळा फोडून, चुराडा करून तयार केलेलेही असू शकतील. या सर्व मिलाव्याचे वर्गीकरण पुढीलप्रमाणे केले जाते. (भारतीय मानक विशिष्टी ३८३) :

मोठा मिलावा : खडी

(अ) फार मोठी खडी	१५० ते ७५ मि. मी.
(ब) मोठी खडी	७५ ते ४० मि. मी.
(क) मध्यम खडी	४० ते २० मि. मी.
(ड) लहान खडी	२० ते ५ मि. मी.

बारीक मिलावा : वाळू

(इ) भरड वाळू
(फ) बारीक वाळू
(ग) श्रेणीयुक्त वाळू

आपण पाहिलेच की कोठल्याही बांधकामाला नमुनेदार श्रेणीकृत मिलावा असणे सर्व दृष्टींनी फायद्याचे आहे. उदा०— धरणासारख्या अजस्र बांधकामासाठी चांगला श्रेणीकृत मिलावा तयार करण्याकरिता पुढे दिलेली प्रमाणे साधारणपणे वापरतात :

मिलावा	टक्के
फार मोठी खडी	१० ते १५
मोठी खडी	१३ ते १५
मध्यम खडी	१५ ते २५
लहान खडी	१५ ते २५
भरड व बारीक वाळूचे योग्य मिश्रण	२५ ते ३०

कमी जाडीच्या बांधकामासाठी वापरलेले सर्वांत मोठे दगडही अर्थातच कमी विस्ताराचे असणार. काँक्रीटचे दमनबल किती हवे याप्रमाणे काँक्रीटच्या ७ श्रेणी भारतीय मानक विशिष्टी ४५६ : मध्ये दिलेल्या आहेत.

श्रेणी	किमान दमनबल, कि. ग्रॅ. / चौरस सें. मी. (१५ सें. मी. बाजूचा त्रिमाव, २८ दिवसांनी)
M १००	७०
M १५०	१००
M २००	१३५
M २५०	१७०
M ३००	२००
M ३५०	२३५
M ४००	२७०

साधारणपणे असे म्हणता येईल, की काँक्रीटमध्ये जेवढे सिमेंटचे प्रमाण जास्त व पाणी / सिमेंट गुणोत्तर कमी तेवढे काँक्रीटचे दमनबल जास्त.

काँक्रीटच्या काही श्रेणींमधले सिमेंट, बारीक व जाड मिलावा व पाणी यांचे प्रमाण पुढीलप्रमाणे असते.

सर्वसाधारण काँक्रीटची श्रेणी	सिमेंट : बारीक मिलावा : जाड मिलावा	पाणी / सिमेंट
M १००	१ : ३ : ६	०.६८
M १५०	१ : २ : ४	०.६४
M २००	१ : १½ : ३	०.६०
M २५०	१ : १ : २	०.५४

मिलाव्याचे गुणधर्म काय हवेत ? (भारतीय मानक विशिष्टी ३८३)

मिलाव्याचे दगड गोलाकार, असम, कोनीय, तसेच चपटे किंवा लांबट असू शकतात. एकाच श्रेणीच्या कोनीय कणांपासून गोलाकार कणांसारखे सुकर मिश्रण मिळत नाही. त्यामुळे कोनीय दगडांच्या मिलाव्यात जरा जास्त वाळू व जास्त सिमेंटची (दगडांमधल्या पोकळ्या भरून काढण्याला) गरज पडते.

तसेच, चपट्या किंवा लांबट दगडांचे प्रमाण जास्त असल्यास सुकरता कमी होते व म्हणून जास्त वाळू, सिमेंट व पाणी यांची जरूरी भासते.

मिलाव्यात दगडांवर कशाचाही लेप बसलेला नको. ज्यामुळे प्रबलन गंजेल किंवा काँक्रीटचे बल किंवा टिकाऊपणा कमी होईल. असे धूळ, माती, कोळसा, कार्बनी वा इतर पदार्थ त्यात नकोत. तसेच दगडांची सच्छिद्रता (छिद्रांचे टक्के आकारमान) कमी हवी.

मिलाव्याचे दगड सर्व दृष्टींनी शक्तिशाली हवेत. ते आघाताला टिकले पाहिजेत, त्यांचा अपघर्षण रोध चांगला हवा व त्यांचे संमर्दक बल चांगले हवे; तसेच त्यांची समांगता चांगली हवी. ते वापरात कसे टिकतील ह्याची परीक्षा घेण्याकरिता Na_2SO_4 व $MgSO_4$ यांच्या तृप्त विद्रवांच्या संपर्कामुळे होऊ शकणाऱ्या विच्छेदाला ते रोध करतात किंवा कसे हे पाहतात.

काही ओपल, चाल्सिडोनी वगैरे सिलिकायुक्त दगड असले तर पोर्टलंड सिमेंट-मधील अल्कली विशुद्धींचे प्रमाण कमी हवे. नाही तर अल्क-मिलावा विक्रियांमुळे प्रसरण होऊन आकृतिबंध भेगा पडून बांधकामाचा शक्तिक्षय होतो. महाराष्ट्रात असे दगड अजून मिळाले नाहीत.

मिलाव्याच्या विविध गुणधर्मांचा परीक्षा पद्धतींची चर्चा भारतीय मानक विशिष्टी २३८६ (भाग १ ते ८) मध्ये दिलेली आहे.

प्रबलन :

सिमेंट काँक्रीटमध्ये पुरेसे दमनबल आहे; परंतु त्यामध्ये तन्यबल अगदीच कमी व म्हणून दमनबलही फारसे नाही. त्यामुळे काँक्रीटच्या बहुतेक कामाच्या आत पोलादी कांबींचा सांगाडा प्रबलन म्हणून घातलेला असतो. (उपमाच द्यावयाची झाली तर मनुष्यप्राणी ताठ मानेने उभा राहू शकतो तो आतल्या हाडांच्या सांगाड्यामुळे. थोडेसे त्याचप्रमाणे, सिमेंट काँक्रीटचे लहानमोठे बांधकाम आतल्या पोलादाच्या सांगाड्यामुळे उभे असते.)

सिमेंट काँक्रीट व पोलादी प्रबलन एकमेकांशी चांगले बंधित होण्याकरिता पोलादाचा पृष्ठभाग स्वच्छ ठेवणे जरूर आहे. त्यावर ढिला गंज, तेल, रंग, चिखल, माती वगैरे काहीही नसणे जरूर आहे.

० ० ० ० ०

समजा, आपणाला घर बांधणे आहे किंवा दुसरे एखादे बांधकाम करणे आहे, तर पुढील बाबींकडे लक्ष देणे जरूर आहे :

(१) वापरण्यात येणाऱ्या पदार्थांचा दर्जा (याची चर्चा आपण वर केलीच आहे.)

(२) वापरण्यापूर्वी हे पदार्थ साठविण्याची पद्धत.

(३) या सर्व पदार्थांचे योग्य प्रकारे मिश्रण करून योग्य वेळात काँक्रीट जागेवर नीट ओतणे व घट्ट बसविणे.

शेवटचे दोन मुद्दे आता आपण विचारात घेऊ.

बांधकामाच्या जागी माल साठविण्याबाबत घेण्याची काळजी.

सिमेंट :

सिमेंट ज्या ठिकाणी साठवावयाचे त्या ठिकाणी फार आर्द्रता नको. म्हणून, अगदी नव्या खोलीत, तिचा आतला भाग पूर्ण कोरडा झाल्याशिवाय, सिमेंट साठवू नये. खोलीची खिडक्या, दारे बंद असावीत; व खोलीत पाण्याचा उघडा साठा नसावा.

जमीन उत्तम काँक्रीटची व कोरडी असेल तरच सिमेंटच्या गोणी जमिनीवर रचाव्या, नाहीतर त्या लाकडी फळयांवर रचाव्या. गोणी भिंतीला टेकवून रचू नयेत; तसेच गोणी एकमेकींना चिकटवून ठेवाव्यात, त्यामध्ये हवा खेळण्यासाठी फटी किंवा अंतर नसावे. गोणींचा ढीग ताडपत्री / पॉलिथिनने संपूर्ण झाकावा. सिमेंटची पोती ज्या क्रमाने गोदामात आणली त्याच क्रमाने ती वापरण्यास काढावीत. वरच्या गोणींच्या भाराने सिमेंट घट्ट झाल्यासारखे वाटेल, म्हणून वापरण्याआधी गोणींना पलटया माराव्यात म्हणजे हा दोष जातो.

खडी व वाळू :

खडी व वाळू सुक्या व कडक जमिनीवर, किंवा लाकडाचे पाट, लोखंडी पत्रे, विटांचा/काँक्रीटचा चौथरा वगैरेंवर साठवावी; चिखलवट जमिनीवर किंवा गवतावर नको.

धूळ / माती, कुजलेला पालापाचोळा, प्राण्यांचा मैला, कोळसा वगैरे अन्य पदार्थांशी त्यांचा संपर्क यावयास नको.

वाळू व खडी यांचे स्वतंत्र ढीग करून कामाच्या वेळी त्यांचे मिश्रण केलेले चांगले. नाहीतर मिश्र मिलावा साठविण्याकरिता ओतल्यावर त्यांच्या कणांचे विस्ताराप्रमाणे पृथक्करण होऊ शकेल.

कोठल्याही ढिगातल्या वेगवेगळया भागात खडी / वाळूत पाण्याचे प्रमाण एकसारखे हवे. म्हणून ढिगांची उंची कमी व क्षेत्रफळ जास्त हवे व माल किमान २४ तास तरी तसाच ठेवलेला हवा. तसेच ढिगाचा खालचा ३० सें. मी. थर वापरू नये. पाणी वाहून जाण्यासाठी तो तसाच ठेवावा.

ढिगांवर कचरा टाकू नये. तसेच त्यांच्यावरील पाने, काटक्या काढून टाकून ढीग साफ ठेवावे.

पाणी :

जे पाणी पिण्याला चालू शकते ते काँक्रीटला योग्य असते. मात्र, याच्या उलट खरे नाही; काँक्रीटला चालणारे पाणी पिण्याला योग्य असेलच असे नाही.

जेथे शुद्ध पाणी मिळणार नाही, तेथे अशुद्ध पाणि वापरून परीक्षेकरिता सिमेंट मॉर्टरचे त्रिमात्र करावे. त्याच वेळी शुद्ध पाणी वापरूनसुद्धा सिमेंट मार्टरचे त्रिमात्र तुलनेकरिता तयार करावे. ७ आणि २८ दिवसांनंतर अशुद्ध पाण्यापासून केलेल्या त्रिमात्रांचे दमनबल शुद्ध पाण्यापासूनच्या त्रिमात्रांच्या दमनबलाच्या किमान ९० टक्के असेल तर अशुद्ध पाणी बांधकामाकरिता घेण्यास हरकत नाही.

समुद्राचे पाणी अप्रबलित काँक्रीटलाच साधारणतः वापरतात. परंतु ह्यामुळे १० ते २० टक्क्यांनी बलक्षय होऊ शकतो. जरा कमी पाणी व जास्त सिमेंट वापरून हा बलक्षय टाळता येतो.

प्रबलित बांधकामात जो भाग पाण्याखाली पुरा बुडावयाचा असेल तेथे आपण समुद्रपाणी वापरू शकतो. परंतु, तेथे काँक्रीट बसविताना ते घट्ट हवे व प्रबलनावर त्याची जाडी पुरेशी हवी. तो भाग वर हवेत असला तर समुद्रपाण्यामुळे प्रबलन गंजू शकेल.

समुद्रातून काढलेली रेती गोडया (शुद्ध) पाण्याबरोबर वापरली तर रेती-बरोबर जे काय क्षार येतील त्यांचा काँक्रीटवर तितकासा परिणाम होणार नाही.

समुद्राच्या पाण्याने प्रबलनाचे गंजणे वेगाने होते किंवा कसे ह्याबद्दल दुमत आहे. परंतु प्रबलनावर काँक्रीटचा जाड थर असेल व काँक्रीट घन असेल, तर हे गंजण्याचे प्रमाण बरेच कमी असते.

आर्थात् खारे पाणी पूर्ण विचारान्तीच वापरावे.

० ० ० ० ०

काँक्रीटचे मिश्रण :

काँक्रीटचे प्रमाण आकारमानाच्या म्हणजे घनफळाच्या रूपात बहुतेककरून निर्देशिले जाते. उदा० सिमेंट: वाळू: खडी यांचे प्रमाण १ : १॥ : ३ किंवा १ : २ : ४ वगैरे. प्रत्यक्षात या सर्व गोष्टी मापी किंवा वजनी दोन्ही तऱ्हांनी जोखल्या जातात.

मापी पद्धत :

सिमेंटसारखी बारीक पूड मापाने जोखणे फार कठीण आहे. उदा०– १ लिटर मापभर पूड हलकेच भरली तर तिचे वजन १.१२ कि. ग्रॅ. भरेल. तीच पूड मापात

जोराने ठासून भरली तर वजन १.६० कि. ग्रॅ. म्हणजे जवळजवळ १।। पट भरेल. म्हणून मापी पद्धतीतसुद्धा दर १ गोणी सिमेंटला (म्हणजेच ५० कि. ग्रॅ. किंवा ३५ लिटर) किती लिटर वाळू व खडी लागेल ती फक्त मापाने जोखतात. ही २५ ते ५० लिटर धारणाशक्तीची मापे ३ सें. मी. जाडया लाकडी फळयांची केलेली असतात. ५० लिटरपेक्षा मोठे माप वापरण्याला जड व कठीण पडते.

आपण घनफळाचे किंवा वजनाचे प्रमाण देताना ते कोरडया वाळूचे किंवा खडीचे देतो. परंतु कामावर जी वाळू वापरतो ती बहुतेक ओली असते व तिच्या प्रत्येक कणाभोवती पाण्याचा पातळ थर असल्यामुळे ते कण एकमेकांपासून दूर जाऊन वाळू फुललेली असते. वाळूत ५–६ टक्के पाणी असताना वाळूच्या कणांच्या लहान-मोठ्या सरासरी विस्ताराप्रमाणे तिच्या घनफळात ४० ते २० टक्के वाढ होऊ शकते. (बारीक वाळू जाडया वाळूपेक्षा अधिक फुलते). वाळूत अधिक पाणी मिसळल्याने पाणी वाहू लागते व फुगावट कमी होते. वाळू पाण्याने पूर्ण भरून संतृप्त होते तेव्हा तिचे घनफळ पूर्ववत जवळजवळ कोरडया वाळूएवढेच होते.

वाळूच्या फुलण्यामुळे होणाऱ्या फरकाकडे दुर्लक्ष केले तर प्रत्येक सिमेंटच्या गोणीपासून काँक्रीटचा उतारा कमी होऊन बांधकामाच्या किमतीत वाढ होईल, कारण त्यात सिमेंटचे प्रमाण जास्त होईल. तसेच वाळू कमी झाल्याने काँक्रीटचे मिश्रण खरबरीत व वापरण्यास कमी सुकर होईल.

पाण्यासाठी कोणते तरी साधारण माप वापरून पाणी ओतणे चूक आहे. प्रमाणित मापे वापरणेच योग्य होय.

वजनी पद्धत :

हलके काम सोडून काँक्रीटचे घटक वजनी पद्धतीनेच जोखणे चांगले. वजन करतेवेळी वाळूत पाणी किती आहे त्याप्रमाणात वाळू घेणे आवश्यक आहे व त्या हिशेबाने शेवटी पाणी घालताना त्याच्या प्रमाणात फेरफार करावे लागतात.

मिश्रण करणे :

सिमेंट, वाळू, खडी, पाणी यांचे हाताने मिश्रण करणे असल्यास ते जलाभेद्य पृष्ठभागावर, उदा०– जस्तलेपित लोखंडी पत्र्यावर करणे चांगले.

प्रथम वाळू व त्यावर सिमेंट टाकून त्यांचे एकसंध मिश्रण करून नंतर त्यात खडी मिसळून शेवटी पाणी मिसळणे हा योग्य मार्ग. हाताने मिश्रण करताना साधारण १० टक्के सिमेंटचे चूर्ण जास्त टाकल्यास बरे पडते कारण हे मिश्रण यांत्रिक मिश्रणा-इतके एकसंध होऊ शकत नाही.

बांधकामावर साधारणतः यंत्राच्या साहाय्यानेच मिश्रण करतात. या यंत्राची धारणक्षमता सुमारे १०० पासून ८०० लिटरपर्यंत असते. काही यंत्रातील मिश्रण तयार करण्याचे मोठे भांडे मिश्रण ओतण्याकरिता कलवंडण्याची सोय असते.

काँक्रीट ओतणे :

काँक्रीट मिश्रण तयार केल्यावर त्यातले सिमेंट घट्ट होऊ लागण्याच्या आत ते जागेवर फर्म्यांमध्ये प्रबलनाभोवती ओतण व त्याचे घनीकरण करणे जरूर आहे. स्थिर स्थितीत काँक्रीट घट्ट व दृढ असावे असे भासते, परंतु आपण एकदा ते हलवू लागलो की काँक्रीट तरल होते. हलविणे थांबविले की परत ते घट्ट भासते.

काँक्रीट हाताने दांडूच्या साहाय्याने ठोसून प्रबलनाभोवती नीट बसवता येते; परंतु याकरिता पाणी / सिमेंट गुणोत्तर जास्त असणे जरूर पडते.

कंपक यंत्राने स्पंदनामुळे काँक्रीटचे घनीकरण चांगले होते व त्यामुळे पुढील फायदे दृष्टोत्पत्तीस येतात.

(१) काँक्रीट जास्त अभेद्य व घन मिळते, कारण स्पंदनामुळे आत अडकलेली हवा बाहेर पडून काँक्रीट घन होते. दर १ टक्का अडकलेल्या हवेमुळे काँक्रीटचे दमनबल ५–६ टक्के कमी मिळते.

(२) कमी पाणी / सिमेंट गुणोत्तरामुळे पाण्याचा तवंग कमी येतो. म्हणून जोडाशी वगैरे बलक्षय कमी होतो.

(३) प्रबलन व काँक्रीट यांमधला बंध जास्त शक्तिशाली मिळतो.

(४) मिलावा / सिमेंट गुणोत्तर जास्त ठेवू शकल्यामुळे वाळल्यावर काँक्रीटचे आकुंचन व सर्पण कमी होते.

(५) अडचणीच्या ठिकाणीसुद्धा काँक्रीट झटकन शिरू शकल्यामुळे काँक्रीटकामाची गती वाढते.

(६) पृष्ठभाग जास्त सु-सम होतो.

ही कंपनयंत्रे पेट्रोल, संकोचित हवा किंवा विजेवर चालतात.

काँक्रीट ओतल्यावर ते दृढ होऊन बलशाली बनण्याचा वेग पुढील कोष्टकावरून साधारण कळून येईल. यात वेगवेगळ्या वेळी उपलब्ध होणाऱ्या दमनबलाचे प्रमाण २८ दिवसांच्या बलाशी तुलनात्मक दिलेले आहे. अर्थात् कोष्टक प्रारूपिक आहे व त्यात दिलेल्या मूल्यांमध्ये सिमेंटची गुणवत्ता व परिमाण, पाणी / सिमेंट गुणोत्तर, काँक्रीट पकविण्याची पद्धती यामुळे फरक होऊ शकतात.

काळ	टक्के बल
१ दिवस	१६
३ दिवस	४०
७ दिवस	६७
२८ दिवस	१००
३ महिने	१२२
६ महिने	१४६
१ वर्ष	१५५

सिमेंट वा मॉर्टर वा कॉंक्रीट एकदा पाणी कालवून जागेवर बसवले म्हणजे ते घट्ट व सामर्थ्यवान होऊन त्याचा दगड होण्याची क्रिया म्हणजेच पाणी उडून जाऊन सिमेंट "सुकण्याची" क्रिया असे कोणाला वाटेल, परंतु हे बरोबर नव्हे. कारण ही क्रिया जलसंयोगाची क्रिया असल्यामुळे मॉर्टर वा कॉंक्रीटचा पृष्ठभागसुद्धा सारा वेळ ओला पाहिजे. म्हणूनच असा सिमेंट ओतलेला नवीन भाग पाणी मारून, ओले गोणपाट वर टाकून वगैरे तऱ्हांनी १४ ते २१ दिवस भिजलेला ठेवतात. त्यामुळे पृष्ठ भागावरील पाण्याचे बाष्पीभवन होत नाही.

जर समजा असे कॉंक्रीट फार लवकर सुकू दिले तर पृष्ठभागापासून काही सेंटिमीटर आतपर्यंतच ते लवकर सुकेल. परंतु त्यामुळे पृष्ठभागावर भुगा होणे, आकुंचनामुळे भेगा पडणे इ. मुळे नुकसान मात्र होऊ शकेल.
म्हणून पुढील बाबी लक्षात घेणे अगत्याचे आहे :

(१) कॉंक्रीट ओतल्यावर २४ तास त्यावर पाणी मारणे, ओले गोणपाट ठेवणे वगैरे करू नये, कारण यावेळी कॉंक्रीट दृढ झालेले नसते.

(२) त्यानंतर १ ते ७ दिवसांपर्यंत कॉंक्रीट बिलकूल सुकता कामा नये.

(३) १४ ते २१ दिवसपर्यंत कॉंक्रीट सारा वेळ ओले ठेवल्यास उत्तम.

(४) जेथे कोरडे वारे वाहत आहेत व जेथे तपमान जास्त आहे तेथे पकविण्या-कडे (ओले ठेवण्याकडे) जास्त लक्ष देणे जरूर आहे.

(५) पकविण्याकडे योग्य तेवढे लक्ष न दिल्यास कॉंक्रीटचे बलाचा व स्थायी-त्वाचा क्षय होऊ शकतो.

० ० ० ० ०

तपमान व काँक्रीट सामर्थ्यवान बनण्याचा वेग यांचे परस्पर महत्त्वाचे नाते आहे. तपमान जसजसे वाढते तसतशी जलसंयोगाची गती वाढते. ह्या नात्याचे एक ढोबळ सूत्र खालीलप्रमाणे :

प = क (त+१०)
प = परिपक्वता, जलसंयोगाचे प्रमाण ;
क = दृढ होण्याचा काळ, जलसंयोगाचा काळ;
त = तपमान, ° सें.

तपमान 'त' मध्ये सूत्रात १० मिळविले आहेत कारण सुमारे –१०° सें. पर्यंत-सुद्धा जलसंयोग होऊ शकतो. ह्या सूत्राचा उपयोग सुमारे ०° ते ४०° सें. पर्यंत होतो. परंतु जर ओतल्याबरोबर काँक्रीटचे तपमान ०° सें. पर्यंत खाली आले, तर ते तपमान ५° सें. पर्यंत परत चढेपर्यंत काँक्रीट नीट गठणार नाही.

जरी जास्त तपमानाला जलसंयोगाचा वेग वाढतो, तरी त्यामुळे अंतिम दमनबल कमीच राहते. परंतु काँक्रीट ओतल्यावर काही वेळ जर सर्वसाधारण तपमान ठेवून नंतर ते वाढले तर हा परिणाम दिसून येत नाही. सर्व दृष्टींनी जलसंयोगाला आदर्श तपमान म्हणजे सुमारे २०° ते २५° सें.

सिमेंटचे तपमान जसे वाढू लागते तसा जलसंयोगाचा वेग वाढल्यामुळे ते घट्ट लवकर होते. म्हणजेच, १०° सें. तपमानापेक्षा ३०° सें. ला जलसंयोग दुप्पट वेगाने होईल. म्हणजेच मानक परीक्षा पद्धतीमध्ये स्थिर तपमानाची अत्यंत आवश्यकता आहे.

अत्यंत थंड प्रदेशामध्ये सिमेंट काँक्रीटचे बांधकाम जलसंयोगाच्या कमी वेळा-मुळे रेंगाळेल. म्हणून अशा वेळी त्या इमारतीमध्ये नंतर ज्या तापकयंत्राच्या सहाय्याने उष्णता खेळवली जाणार ते यंत्र आधी बसवतात. जेथे काँक्रीट ओतणार त्या जागे-भोवती प्लॅस्टिकच्या तावांच्या आच्छादनाने एक खोलीच बनवतात व ह्या खोलीत उष्णता खेळवून वरच्या तपमानाला काँक्रीट ओततात. तसेच, मिलावा, सिमेंट, पाणी तापवूनसुद्धा वापरतात.

ह्या उलट गरम हवेमध्ये– म्हणजेच सुमारे ४०° सें. किंवा जास्त तपमानाला-काँक्रीटचे काम करणे असेल तर दुसरे प्रश्न उद्‌भवतात व हे प्रश्न हवेत कमी आर्द्रता असेल किंवा वाऱ्याचा वेग जास्त असेल तर जास्त त्रासदायक ठरतात. वरच्या तपमानाचे पुढील परिणाम असतात :

(अ) **गठणाचे वेगवर्धन** : वरच्या तपमानाला जलसंयोगाचा वेग जास्त असल्या-मुळे काँक्रीट जागेवर ओतून बसवायला कमी वेळ मिळतो. तसेच पुढील घाणा शेजारी

ओतेपर्यंत जर आधीचा पृष्ठभाग दृढ झाला असेल तर दोहोंमधला दुवा भक्कम होणार नाही.

(ब) **शक्तिपात** : सुकरतेकरता पाणी/सिमेंट गुणोत्तर वाढवावे लागल्यामुळे दृढ कॉंक्रीटमध्ये बल कमी राहते.

(क) **चिरा पडण्याची जास्त प्रवृत्ती** : दृढीकरणाच्या आधी किंवा नंतर पाण्याच्या बाष्पीभवनामुळे आकार्य आकुंचनाने कॉंक्रीटला भेगा, चिरा पडू शकतात. तसेच जादा पाणी वापरल्यामुळे कॉंक्रीट वाळल्यावर जास्त आकुंचन पावेल किंवा कालांतराने त्याचे तपमान खाली येऊन ते आकुंचन पावेल व त्याला चिरा पडतील.

(ड) **जलसंयोगाच्या काळात पाण्याचे बाष्पीभवन** : यामुळे जलसंयोगापुरते पाणी शिल्लक न राहण्याचा संभव असतो व तपमानसुद्धा स्थिर ठेवणे कठीण जाते.

याकरिता पुढील प्रकारची काळजी उपयुक्त ठरते :

(अ) मिलावा वगैरे सावलीत साठवणे.

(ब) साठ्यावर (सिमेंटच्या नव्हे!) काळजीपूर्वक पाण्याचा फवारा मारून तो गार ठेवणे. तसेच साठ्याचे ढीग रचतानासुद्धा प्रत्येक थरावर पाणी मारणे.

(क) पाणी गार असेल तर वापरण्याच्या आधी खडीवर ओतणे.

(ड) गार पाणी वापरणे. पाण्याची विशिष्ट उष्णता इतर पदार्थांचे मानाने ४.५ ते ५ पट असल्याने थंड पाण्याचा उपयोग कॉंक्रीटचे तपमान कमी ठेवण्याला चांगला होतो.

(इ) कॉंक्रीटचे मिश्रण करणे, ते ओतणे व जागेवर बसवणे या सर्व क्रिया झटपट उरकणे.

(फ) कॉंक्रीटचे कामाजवळची सर्व जागा आधी पाणी शिंपडून गार ठेवणे.

(ग) कॉंक्रीट-कामावर येऊ शकणारा वारा अडविणे.

(ह) कॉंक्रीट लवकर वाळू न देण्याची सर्व प्रकारची खबरदारी घेणे.

° ° ° ° °

सिमेंट मॉर्टर वा कॉंक्रीट यांचे आकारमानात पाणी कालवल्यापासून जे अपरिहार्य बदल होतात त्यांचा आपण विचार करू या. यामध्ये खालील बाबींचा समावेश होतो :

(१) ताज्या कॉंक्रीटमधून "रक्त येणे" (bleeding) म्हणजेच पाण्याचे "ऊर्ध्ववहन"

(२) जलसंयोगामुळे होणारा रासायनिक संकोच.

(३) सुकणे व जलशोषण या क्रियांमुळे होणारे आकुंचन व प्रसरण; आणि शेवटी

(४) कायम स्वरूपाच्या दबावामुळे होणारे सर्पण.

(१) पाण्याचे ऊर्ध्ववहन :

मॉर्टर वा कॉंक्रीट म्हणजे सिमेंटचे पाण्यामध्ये संधारण आहे. म्हणूनच मॉर्टर वा कॉंक्रीट जागेवर ओतल्यावर ते घट्ट होऊ लागेपर्यंत त्या संधारणातील घन कण खाली बसू लागतात व पाणी वर येऊन त्याचा मॉर्टर वा कॉंक्रीटवर थर जमा होऊ लागतो. म्हणजेच या क्रियेमध्ये पाणी वर आल्याने कॉंक्रीटचे आकारमान कमी होते. असे होताना जरी पाणी/सिमेंट गुणोत्तर कमी होत असले तरी या क्रियेमध्ये कॉंक्रीटची एकजातीयता कमी होते. पाणी वर येताना आपल्याबरोबर सिमेंटचे सूक्ष्म कण वर आणत असल्यामुळे वरच्या पृष्ठभागावर जास्ती जल असलेला, म्हणूनच कमी बल असलेला, सिमेंटच्या राळयाचा थर येतो. त्याबरोबरच आतल्या अंगाला कमी सिमेंट असलेले भाग तयार होतात.

तसेच प्रत्येक दगडाच्या तुकड्याखाली असाच कमी बलाचा (कमजोर) थर जमतो. हीच गोष्ट आतल्या प्रबलनाखाली होऊन कॉंक्रीट व प्रबलन यामधील पाश कमजोर बनतात.

पाण्याचे या विभक्तीकरणाला पुढील कारणे असू शकतात : (१) कॉंक्रीटमध्ये बारीक वाळू कमी असणे, (२) सिमेंट फार भरड असणे, (३) कॉंक्रीटमध्ये सिमेंटचे प्रमाण कमी असणे, (४) पाण्याचे प्रमाण जास्त असणे, (५) सिमेंट गठणाचा प्रारंभिक काल जास्त असणे.

फार विभक्तीकरण न होण्यासाठी फार जोराचे उपाय (उदा०— कमी पाणी वापरणे) तितके सर्व दृष्टीने फायद्याचे नसतात. कॉंक्रीटचे तंत्रामध्ये उत्तम मार्ग म्हणजे सर्व गोष्टींचा सुवर्णमध्य गाठणे. पाण्याचे विभक्तीकरण झाल्यास घट्ट होण्याच्या प्रारंभिक कालाआधी कंपाचे साहाय्याने कॉंक्रीट परत एकजीव करता येते.

(२) जलसंयोगामुळे होणारा संकोच :

आपण पाहिलेच की १०० ग्रॅम सिमेंटबरोबर सुमारे २५ ग्रॅम पाण्याचा संयोग होतो व जलसंयोगामुळे पाण्याच्या आकारमानात १/४ ने घट होते. ह्या घटीमुळे सिमेंटच्या पेस्टमध्ये बारीक अनुषंगी पोकळ्या तयार होतात. जलसंयोग जर पाण्या-

खाली होत असेल तर ह्या पोकळ्या पाण्याने भरून जातील. जर तो हवेमध्ये होत असेल तर त्या हवेने भरतील. जलसंयोगामुळे किंवा पाण्याच्या बाष्पीभवनाने ह्या पोकळयांमध्ये जेव्हा हवा जाते, तेव्हा सिमेंट काँक्रीटच्या आकारमानामध्ये संकोचाने थोडी घट येते. मिश्रणामध्ये (उदा०– अॅस्बेस्टॉस सिमेंट) सिमेंटचे प्रमाण जास्त असल्यास अर्थात् ही घट जास्त असते.

(३) सुकणे व जलशोषण यामुळे होणारे आकुंचन व प्रसरण :

सर्वसाधारण संपूर्ण जलसंयोग झालेल्या सिमेंटच्या दगडामध्येसुद्धा सुमारे ३५–४० टक्के मापी सच्छिद्रता असते, आणि ही सच्छिद्रता अत्यंत सूक्ष्म अशा अनुषंगी छिद्रांमध्ये विभागली गेलेली असते. ह्या सूक्ष्म छिद्रांमुळेच सिमेंटच्या सुकण्यामुळे व जलशोषणामुळे ते आकुंचन व प्रसरण पावते. जेव्हा एखाद्या छिद्रातील पाण्याचे बाष्पीभवन होते, तेव्हा त्याच्या बाजू एकमेकांजवळ आकर्षिल्या जातात. जितके छिद्र लहान तेवढा हा आकर्षक प्रेरक जास्त. आता बाहेरील हवेची आर्द्रता १०० टक्के पेक्षा कमी केली, तर लगेच सर्व छिद्रांतील पाण्याचे बाष्पीभवन होणार नाही. जेवढी आर्द्रता कमी करू, तेवढी जास्त लहान व्यासाची छिद्रे कोरडी होऊ लागतील. ह्या उलट हवेची आर्द्रता वाढवत गेल्यावर वाढत्या विस्ताराची छिद्रे पाण्याने भरली जातात. सिमेंटचे हे आकुंचन व्युत्क्रमी असते.

आर्द्रता फारच कमी झाली तर सर्वांत लहान (जेलजलाची) छिद्रे सुकू लागतील व यावेळी आकर्षक प्रेरक एवढा जास्त असेल व त्यामुळे त्या बाजूचे कण एकमेकांच्या इतके जवळ येतील की बाजूच्या कणांवर फाजिल ताण पडेल. त्यापैकी ज्यांचे दुवे फार सामर्थ्यवान नाहीत, ते निखळून तेथे अत्यंत सूक्ष्म भेगा पडून आकुंचनाचा हा भाग अव्युत्क्रमी ठरेल.

आपण पाहिलेच की सिमेंटच्या पेस्टमध्ये जितके पाणी / सिमेंट गुणोत्तर जास्त, तितके अनुषंगी छिद्रांचे प्रमाण जास्त. हे सिमेंट सुकू लागल्यावर प्रथम मोठ्या छिद्रांच्यामधील पाणी उडून जाईल. तेव्हा मात्र आकुंचन होणार नाही. शेवटी जेव्हा बारीक छिद्रे सुकू लागतील तेव्हाच कमी गुणोत्तराच्या पेस्टप्रमाणेच आकुंचन होऊ लागेल.

हे आकुंचन मापी सर्वसाधारणपणे ०.३ टक्के पर्यंत जाऊ शकते. पाणी / सिमेंट गुणोत्तर जास्ती असलेल्या शिळेमध्ये ती वाळू लागल्यावर त्यातील संयुगांचा हवेतील CO_2 शी संयोग होऊन त्यामुळेसुद्धा कायमचा आकारमानाचा संकोच होतो :

$$Ca(OH)_2 + CO_2 \rightarrow CaCO_3 + H_2O$$

$$3CaO.2SiO_2.3H_2O + 3CO_2 \rightarrow 3CaCO_3 + 3SiO_2 + 2H_2O$$

हा संकोच साधारणतः पृष्ठभागावरच मर्यादित असतो. ५० टक्के आर्द्रतेमध्ये हा सर्वात जास्त होतो व त्यामानाने २५ टक्के व १०० टक्के आर्द्रतेत कमी होतो.

मॉर्टर किंवा काँक्रीटवर सिमेंटच्या आकुंचन व प्रसरणाचा काय परिणाम होणार ? ह्याचे सूत्र प्रथम आसादनाप्रमाणे आपण पुढीलप्रमाणे मांडू शकतो.

स = स० × अ × य

स = मॉर्टर वा सिमेंटचे आकुंचन

स० = सिमेंट पेस्टचे आकुंचन

अ = काँक्रीटच्या एकक आकारमानात सिमेंट पेस्टचे प्रमाण,

य = मिलावा व सिमेंट पेस्ट यांचा यंगच्या गुणांकावरून साधलेला स्थिरांक.

परंतु अशा तऱ्हेच्या सूत्रांचा विशेष उपयोग नाही. कारण काँक्रीटच्या शिळेचा आकार व विस्तार ह्यावर तिचे आकुंचन अवलंबून आहे. प्रयोगशाळेत असे दिसून आले की काँक्रीट ओतल्यावर व नंतर ५० टक्के आर्द्रतेच्या हवेत ठेवल्यावर ३०० दिवसांनीसुद्धा पृष्ठभागापासून सुमारे १५ सें. मी. आत आर्द्रता जवळजवळ १०० टक्केच होती.

(४) ' सर्पण ' :

काँक्रीटचे आकुंचन होऊ दिले नाही तर त्यामध्ये ताण दबाव निर्माण होतो. हा दबाव जास्त प्रमाणात झाल्यास त्यामुळे शेवटी काँक्रीटला भेगा पडू शकतील किंवा त्याआधी काँक्रीटमध्ये आकार्य ओघामुळे सर्पण होईल.

० ० ० ० ०

काँक्रीटकरिता समावेशक :

वेगवेगळ्या तऱ्हांच्या समावेशकांमुळे काँक्रीटच्या गुणधर्मामध्ये इष्ट बदल घडवून आणता येतात. समावेशकांचे काही प्रकार आपण पाहू या :

(१) **प्रवेगक** : सिमेंटचा जलसंयोगाचा वेग वाढवून काँक्रीटचे बलसंवर्धनाचा वेग वाढविण्याकरिता काही विशेष बांधकामांना किंवा थंडीमध्ये (२०° सें. किंवा कमी तपमानात) प्रवेगकांचा उपयोग होतो. कॅल्शम क्लोराइड म्हणजे नित्य नेहमीचा प्रवेगक वजनी १–२ टक्के पाण्यात विरघळवून काँक्रीटमध्ये घालतात. जास्त प्रमाणात घातल्यास सिमेंट पेस्टचे अकाली गठण होऊ शकते. प्रबलित काँक्रीटमध्ये $CaCl_2$ चा उपयोग केल्यास प्रबलन गंजून जाण्याचा धोका संभवतो.

ट्रायएथॅनॉलअमीन्, स्टॅनस् किंवा फेरस् क्लोराइड, सोडियम थायोसल्फेट वगैरे इतर प्रवेगक आहेत.

(२) **प्रतिप्रवेगक** : उष्ण हवामानात सिमेंटचे जलसंयोगाचा वेग रोखण्याकरिता प्रतिप्रवेगक वापरतात. यात साखर (साखरेचे पाणी), कार्बोहायड्रेट अनुजात, विद्राव्य झिंकची लवणे, विद्राव्य बोरेटस् यांचा समावेश होतो. १ टक्का साखरेच्या विद्रवामुळे गठण होण्याचे पूर्ण थांबू शकते. ०.०५ टक्के हे प्रमाण इष्ट ठरते. ०.२ टक्के साखरेमुळे गठणाचा अंतिम काल ७२ तासांपर्यंत लांबतो.

(३) **पाणी कमी करणारे गठण प्रतिप्रवेगक समावेशक** : यामध्ये लिग्नोसल्फॉनिक अम्ले व हायड्रॉक्सिलेटेड कार्बोक्सिलिक अम्ले व त्यांची लवणे यांचा समावेश होतो. साखरेमुळेसुद्धा कमी पाणी पुरते.

(४) **वायुबंधक द्राव** : काँक्रीट मिश्रणाचे वेळी पाण्याबरोबर वायुबंधक द्राव घातल्यास काँक्रीटमध्ये हवेचे ६० ते ८० मायक्रॉन व्यासाचेपर्यंत अनेक बुडबुडे तयार होतात. यांचा बॉलबेअरिंगसारखा उपयोग होऊन मिलाव्याच्या कणांमधले घर्षण कमी होऊन काँक्रीटची सुकरता वाढते व त्यामुळे पाण्याचे प्रमाण कमी करता येते. हवेमुळे काँक्रीटचे बल कमी होईल ते कमी पाण्यामुळे वाढते व ह्या दोन्हींमध्ये प्रतिसमतोलन होते. मिलाव्यामध्ये सर्वांत मोठ्या दगडांचे विस्ताराप्रमाणे कमाल हवेचे प्रमाण असावे.

सर्वांत मोठ्या दगडांचे आकारमान (मि. मी.)	**हवेचे प्रमाण टक्के**
१८	६.०+१
३८	४.५+१
७७	३.५+१
१५५	३.०+१

यामध्ये हवेचे प्रमाण वाढण्याचा धोका असल्यामुळे जेथे हवेचे प्रमाणावर सारा वेळ लक्ष असेल तेथेच वातित काँक्रीट वापरावे.

हवेचे प्रमाण हवामापकानी मोजतात.

(५) **वायुसारक द्राव** : याकरिता त्रि-ब्युटाइल फॉस्फेट व द्वि-ब्युटाइल थॅलेट यांचा उपयोग करतात.

(६) **वायु तयार करणारे पदार्थ** : काँक्रीट मिश्रणाचे वेळी अत्यंत सूक्ष्म ॲल्युमिनियम धातूचे चूर्ण वापरल्यास सिमेंट पेस्टच्या अल्कधर्मामुळे हायड्रोजन वायूचे

बुडबुडे तयार होतात. सिमेंटच्या वजनी सुमारे ०.००५ टक्के ॲल्युमिनियम पुरे पडते. याशिवाय झिंक धातूचे चूर्ण, हायड्रोजन पेरॉक्साइड, विरंजक चूर्ण इ. सुद्धा वापरतात. असे समावेशक दरजा भरण्याच्या कामाकरिता, किंवा जेथे आकुंचन कमी हवे असले तेथे वापरतात.

(७) **जलनिरोधक पदार्थ** : काँक्रीट मिश्रणाचा आकृतिबंध योग्य असल्यास, पाणी / सिमेंट गुणोत्तर पुरेसे कमी असल्यास व मिलाव्याचे दगड चांगले व समांग असल्यास काँक्रीट जलाभेद्यच असेल. जलनिरोधकावर खर्च करण्यापेक्षा दाट मिश्रण वापरणे व पाणी कमी वापरणे यावर खर्च केलेला जास्त बरा हा एक दृष्टिकोन. दुसरा दृष्टिकोन म्हणजे काँक्रीटच्या तंत्रात जर काही उणिवा राहून गेल्या तर जलनिरोधक समावेशकामुळे काँक्रीटचा जलविरोध पूर्ववत् वाढेल.

जलनिरोधक दोन प्रकारचे : रासायनिक दृष्ट्या निष्क्रिय, किंवा कार्यप्रवण सूक्ष्म दळलेले खडू, टाल्क वगैरे काँक्रीटमधील छिद्रे भरून काढणारे पदार्थ यांचा पहिला प्रकार. दुसरा प्रकार म्हणजे सोडा किंवा पोटॅश साबण (चुन्याशिवाय किंवा चुन्यासहित अल्कली सिलिकेटस्, कॅल्शम क्लोराइड घालून) हे कार्यप्रवण जलद्वेषी पदार्थ. काँक्रीटमध्ये घालून त्याच्या गुणधर्मांची चाचणी केल्याशिवाय यांचा उपयोग करू नये.

जलनिरोधक समावेशकाबद्दलच्या भारतीय मानक विशिष्टी २६४५ प्रमाणे असा समावेशक वापरल्याने प्रमाणित सिमेंट मॉर्टरमधून पाण्याची पार्यता ५० टक्केने कमी झाली पाहिजे.

(८) **प्रबलनावर गंज चढू न देणारे पदार्थ** : यात सोडियम बेन्झोएट, स्टॅनन क्लोराइड, सोडिअम नायट्राइट यांचा समावेश होतो. हे पदार्थ काँक्रीटमध्ये मिसळून वापरतात.

प्रकरण ७ वे

सिमेंट कॉंक्रीटचे तंत्रविषयी : काही जुने काही नवे

सिमेंट कॉंक्रीटचे तयार उत्पाद

आतापर्यंत आपण मुख्यत: घर वगैरे बांधकामाच्या जागेवर कॉंक्रीटचे मिश्रण करणे, ओतणे, इत्यादि क्रियांबद्दल चर्चा केली. सिमेंट कॉंक्रीटचे कारखान्यांतून वेगवेगळे उत्पाद बनवितात. उदा०— सिमेंटच्या लाद्या, कॉंक्रीटचे पोकळ ठोकळे, रस्त्यांवरील दिव्यांचे खांब, कुंपणाचे खांब, लोहमार्गाखालचे स्लीपाट, घराचे सुटे भाग– भिंती, छप्पर वगैरे. यांपैकी काहींची आपण चर्चा करू या.

सिमेंटच्या लाद्या : सिमेंटच्या रंगीबेरंगी फरशा आता शहरांतून नवीन घरीं सर्रास दिसतात. या बनविण्याकरिता साच्यामध्ये प्रथम बारीक रंगीबेरंगी दगड पसरतात. त्यावर रंग घातलेल्या पांढऱ्या सिमेंटचे चूर्ण पसरून त्याचेवर साध्या सिमेंटचा मॉर्टर ओततात. दृढ झाल्यावर पृष्ठभाग पॉलीश करतात व त्यापासून सुबक लाद्या (साधारणत: २५ × २५ सें. मी.) मिळतात.

कॉंक्रीटचे पोकळ ठोकळे : बांधकाम करताना माती भाजून तयार केलेल्या विटा सर्रास वापरतात. अशा विटांचे ऐवजी सिमेंट कॉंक्रीटच्याच तयार विटा किंवा ठोकळे प्रचारात आले आहेत. असे ठोकळे कारखान्यात साच्यामध्ये कॉंक्रीट ओतून आधीच तयार केलेले असतात.

भारतीय मानक विशिष्टी २१८५ प्रमाणे या ठोकळ्यांची लांबी व उंची अनुक्रमे ४० व २० सें. मी. व रुंदी ३०, २० किंवा १० सें. मी. असावी. पोकळ ठोकळ्यांमध्ये सबंध ठोकळ्याच्या आकारमानाच्या २५ ते ५० टक्के पोकळी असते.

या पोकळ ठोकळ्यांमुळे उष्णतेच्या प्रवाहाला रोध होऊन इमारतीचा आतला भाग बाहेरील वातावरणापेक्षा उन्हाळ्यात थंड व हिवाळ्यात गरम राहू शकतो.

कॉंक्रीटचे परिवलित नळ (ह्यूम पाइप)

पाणी, सांडपाणी वगरे वाहून नेण्याकरिता कॉंक्रीटचे कारखान्यात तयार केलेले परिवलित नळ एकमेकांना जोडून वापरतात. यांचा व्यास साधारणपणे १० सें. मी. ते ३ मी. इतका असतो, व लांबी १ ते ६ मीटर.

नळाच्या बाजूच्या जाडीप्रमाणे ९ ते १८ मि. मी. आकाराचा मिलावा वापरतात व सुरुवातीला मिश्रणामध्ये पाणी / सिमेंट गुणोत्तर वजनी ०.२७ ते ०.३२ इतके असते. काँक्रीटचे मिश्रण तयार करून गोल फिरणाऱ्या व प्रबलनाचा तयार सांगाडा घातलेल्या साच्यात ओततात. काँक्रीट ओतत असताना साच्याला दर मिनिटाला ४०० ते ८००० आवर्तने इतकी कंपने देतात व काँकीटची परीधी गती २४० ते ३०० मी. दर मिनिटाला इतकी असते. नळाला आतल्या बाजूने काही संस्करण करून ही परिधी गती नळाच्या व्यासाप्रमाणे ६०० ते १५०० मी. / मिनिट इतकी वाढवतात. ह्यामुळे काँक्रीटवर गुरुत्वप्रेरकाच्या ५० पट अपमध्ये प्रेरकाची क्रिया घडते; व या सर्वांमुळे काँक्रीट घट्ट बसते व त्यामधले काही पाणी बाहेर पडून पाणी / सिमेंट गुणोत्तर ०.२२ ते ०.२७ इतके खाली येते. ही सर्व क्रिया सुमारे ३ ते १५ मिनिटे किंवा जास्त वेळसुद्धा चालते.

यानंतर काही उत्पादक हे नळ कमी दाबाच्या वाफेमध्ये पकवून मग साच्यातून बाहेर काढतात व जरुरीप्रमाणे ७ दिवसपर्यंत आर्द्र हवेत पकवण्यास ठेवतात.

सिमेंट ॲसबेसटॉसचे उत्पाद :

सिमेंट काँक्रीटच्या पुरेशा तन्यबल व नमनबलाची उणीव पोलादी कांबींचा सांगाडा वगैरे आत प्रबलन म्हणून वापरून भरून काढतात. त्याचप्रमाणे सर्पेण्टाइन ॲसबेसटॉस या खनिजाच्या तंतूनींही ही उणीव भरून काढता येते. सिमेंटमध्ये ॲसबेसटॉसचे तंतूंचे मिश्रण करून कृश तवते तयार करतात. अशा तक्त्यांपासून तयार केलेले ॲसबेसटॉस सिमेंटचे पत्रे, नळ वगैरे उत्पाद आपल्या परिचयाचे असणारच.

या प्रकारामध्ये वजनी ८–१५ टक्के ॲसबेसटॉसचे तंतू व उरलेले ९२–८५ टक्के सिमेंट असते. अशा तऱ्हेच्या उत्पादांची विनिर्माण प्रक्रिया नेहमीसारखी करत नाहीत, कारण या तंतूंचे सिमेंटबरोबर एकविध मिश्रण करणे कठिण पडते. तसेच हे तंतू खूप पाणी शोषून घेत असल्यामुळे पेस्ट तयार करताना पाणी / सिमेंट गुणोत्तर जास्त ठेवणे भाग पडते व या सर्वांमुळे उत्पादाच्या अंतिम बलाचे लघुकरण होते.

म्हणून यांची विनिर्माण प्रक्रिया काहीशी कागदाप्रमाणे असते. म्हणजेच, ॲसबेसटॉस व सिमेंट यांचे पाण्यात संधारण करून हे संधारण जाळीदार पृष्ठभागावर ओततात. त्यातले पाणी शोषून घेतल्यावर सिमेंट ॲसबेसटॉसचा एक बारीक स्तर बनतो. असे एकावर एक स्तर बसवून त्यापासून पुरेशा जाडीचा तक्ता प्रथम बनवितात. या तक्त्यांना पाहिजे तो आकार दिल्यावर पुढे सिमेंट दृढ होऊ देतात. ॲसबेसटॉसमुळे

सिमेंटचे नमनबल २ ते ४ पटींनी वाढते व या पासून कमी जाडीचे व काँक्रीटपेक्षा हलके असे उत्पाद बनविता येतात हा यांचा मुख्य गुण.

० ० ० ० ०

पूर्वनिर्मित काँक्रीटचे उत्पाद :

जेव्हा सिमेंट काँक्रीटचे अनेक मजली घर बांधणे असेल, किंवा एकासारखी अेक अनेक घरे बांधणे असेल, तेथे भिंतीचे, जमिनींचे वगैरे तुकडे कारखान्यात आधीच निर्माण करून घर बांधण्याचे ठिकाणी ते भाग फक्त एकमेकात नीट बसवून घरबांधणी भराभर आवरता येते.

या भागांमध्ये नेहमीच्या मिलाव्याऐवजी जर हलका-फुलका मिलावा वापरला, किंवा सिमेंटमध्ये जर वायुबंधक द्राव घातला तर हे भाग वजनानेही जरा हलके होतात व ते कारखान्यातून बांधकामाच्या जागी नेणे सोयीचे होते.

असे भाग तयार करताना सर्वांत काळजी घ्यायची म्हणजे एकासारख्या एक भागांचे माप स्थिर हवे. नाहीतर, बांधकामाचे ठिकाणी हे भाग एकत्र बसविणे कठिण जाणार.

० ० ० ० ०

सिमेंट काँक्रीट वाफेमध्ये पकविण्याची क्रिया :

सिमेंट काँक्रीट बांधकामाचे जागी एकदा ओतले की २–३ आठवडे ते ओले ठेवून पकविण्याची काळजी घ्यावी लागते. सिमेंट काँक्रीटचे उत्पाद जर आपण कारखान्यात तयार करत असलो तर सर्व उत्पाद २–३ आठवडे पकविण्याकरिता ठेवल्यास फार जागा अडेल व सगळे उत्पाद तयार होण्यास फार वेळ लागेल. याकरिता काही कारखान्यात असे उत्पाद सुमारे १२०° सें. ला वाफेने पकवितात. त्याकरिता सिमेंट गठल्यावर व त्यात थोडे दमनबल आल्यावर उत्पाद दाबपात्रात ठेवून सुमारे १२०° सें. तपमानाला वाफेची विक्रिया घडवून आणतात. त्यामुळे सिमेंटचा जलसंयोग काही तासातच पुरा होतो.

सुमारे १६० सें. किंवा त्यावरच्या तपमानाला वाफेमध्ये सिमेंट काँक्रीट पकविल्यास तयार झालेल्या टोबरमोराइट व सजल चुना $Ca(OH)_2$ यांच्यात रासायनिक विक्रिया होऊन सजल C_2S बनते, व यामुळे दमनबल घटू शकते. ते घटू नये म्हणून

सिमेंट कॉंक्रीटचे मिश्रणात गारेचे किंवा पोझोलॅनाचे बारीक चूर्ण मिसळतात. याची सजल चुन्याशी विक्रिया होऊन आणखी टोबरमोराइट मिळते व पुरेसे $Ca(OH)_2$ शिल्लकच राहात नाही. म्हणून पुढील विक्रिया व बलनाश टळतात, एवढेच नव्हे तर जास्त $Ca(OH)_2$ ऐवजी जास्त टोबरमोराइट मिळाल्याने बलवृद्धी होते.

या वरच्या तपमानाला वाफेने पकविण्याची क्रिया काही तासातच आटोपून उत्पाद लगेच तयार होतो.

० ० ० ० ०

लोही सिमेंट :

लोही सिमेंट हा प्रकार १९४३ साली ५०० टनांपर्यंत लहान बोटी झटपट व सोप्या पद्धतीने बांधण्याकरिता विकसित झाला. कॉंक्रीटचे बांधकामामध्ये तन्यबल आणण्याकरिता पोलादी कांबींचे प्रबलन वापरतात, पूर्व दमनित कॉंक्रीटमध्ये ताणलेल्या पोलादी तारांचा उपयोग करतात, तसेच लोही-सिमेंटमध्ये सिमेंट मॉर्टरमध्ये प्रबलना-करिता लोखंडी जाळीचे एक किंवा अनेक थर वापरतात.

साधारणपणे जाळीच्या तारा ०.५ ते १.५ मि. मी. व्यासाच्या असतात. जाळीची भोके १० ते २५ मि. मी. आकाराची व प्रबलनाचे प्रमाण आकारमानी ४ ते ८ टक्के असते.

लोही-सिमेंटचा एक फायदा असा की, १० ते ४० मि. मी. इतक्या कमी जाडीच्या संरचना तयार करता येतात की ज्यांचे तन्यबल ३०० कि. ग्रॅं./चौरस सें. मी. इतके असू शकेल. जास्त तन्यबल मिळण्याचे कारण लोही-सिमेंटमध्ये प्रबलनाचे विशिष्ट पृष्ठक्षेत्र बरेच जास्त असल्यामुळे ज्या चिरा पडतात त्या फार बारीक असतात. लोही-सिमेंटचे भंजनबल प्रबलनाच्या भार वाहण्याच्या क्षमतेवर अवलंबून आहे.

लोही-सिमेंटच्या संरचनांबद्दल अनुभवजन्य माहिती आहे, परंतु याच्या अभियांत्रिकी गुणधर्मांबद्दल पुरेसे ज्ञान उपलब्ध नाही. ह्या तऱ्हेच्या संरचना करण्या-करिता फार मोठे तंत्र-कौशल्य लागत नाही. म्हणून विकसनशील देशांत यांचा फार उपयोग व्हावा.

नजिकच्या काळात लहान नावा, पाणी साठविण्याकरिता टाक्या, अन्नधान्य साठविण्याकरिता कणग्या, कमी खर्चाची घरांची छपरे वगैरे अनेक तऱ्हेच्या संरचनांना याचा उपयोग व्हावा. नैसर्गिक वायू कमी तपमानाला (–१६०° सें.) द्रव स्थितीत

साठविण्याकरिता व वाहून नेण्याकरिताही याचा उपयोग होऊ शकेल. अशा कमी तपमानाला साधे पोलाद ठिसूळ होते.

० ० ० ० ०

तयार मिश्रित काँक्रीट :

एखाद्या बांधकामाच्या ठिकाणी काँक्रीट तयार करण्याकरिता सिमेंट, वाळू, खडी वगैरेंचे साठे काळजीपूर्वक व स्वच्छ आणि अलगअलग ठेवावे लागतात. तसेच वाळू व खडी चाळून घेऊन त्यांच्या वेगळ्या श्रेणीही नीट वेगळ्या साठवाव्या लागतात. जितके बांधकाम मोठे, तितके हे वेगवेगळे ढीगही मोठे ठेवावे लागतात. काँक्रीट तयार करताना प्रत्येक पदार्थ वजनी किंवा मापी जोखावा लागतो.

त्याऐवजी एका मध्यवर्ती डेपोमध्ये किंवा कारखान्यामध्ये काँक्रीटचे मिश्रण तयार करून ते ट्रकांमधून वेगवेगळ्या बांधकामांच्या ठिकाणी नेता येते. या ट्रकांवर एक मिश्रण करण्याचा मोठा ड्रम चढविलेला असतो व हा ड्रम स्वतःच्या अक्षाभोवती मिनिटाला १०–१५ पर्यंत परिभ्रमणे जरूर तेव्हा करू शकतो. अर्थात् डेपोपासून बांधकामाच्या ठिकाणापर्यंत सुमारे १॥–२ तासात काँक्रीट जाणे जरूर आहे.

तयार मिश्रित काँक्रीट डेपोपासून बांधकामाच्या जागेपर्यंत नेण्याच्या मुख्यतः दोन तऱ्हा :

(१) डेपोमध्ये काँक्रीट पुरे किंवा साधारण मिसळून ट्रकवरच्या ड्रममध्ये ओतणे. डेपोपासून जागेवर ट्रक जाईपर्यंत ड्रम हळूहळू (मिनिटाला १–२ फेरे) फिरविणे व शेवटी पुन्हा एकदा ड्रम जोरात फिरवून काँक्रीट नीट मिसळून ओतणे.

(२) काँक्रीटचे सुके मिश्रण ट्रकमधून नेऊन जागेवर आल्यावर त्यात पाणी घालून नीट मिश्रण करणे व ओतणे.

ट्रकच्या आकारमानाप्रमाणे ट्रक एका खेपेत सुमारे ६ घन मीटर (किंवा १५ टन) पर्यंतसुद्धा काँक्रीट नेऊ शकतो.

पाश्चिमात्य देशांत, जिथे मजुरीचे दर फार आहेत, तेथे त्या प्रमाणात तयार मिश्रित काँक्रीटचा बराच प्रचार होऊ लागला आहे. अमेरिकेत जवळजवळ ६० टक्के सिमेंट तयार मिश्रित काँक्रीटकरिता वापरले जाते. भारतात मात्र अजून ही पद्धत सुप्तावस्थेतच आहे.

० ० ० ० ०

कृत्रिम हलका फुलका मिलावा :

झोतभट्टीतली द्रव धातुमळी बाहेर सावकाश थंड होऊ दिली तर तिचे स्फटिकीकरण पुरे होते. अशा स्फटिकीकरण पूर्ण झालेल्या काँक्रीटच्या शिळा फोडून त्यांचा काँक्रीटकरता मिलावा म्हणून आज कैक वर्षे वापर होत आहे. परंतु कृत्रिम मिलाव्यामध्ये त्या मानाने नवीन म्हणजे हलका फुलका मिलावा. अशा मिलाव्याची व्याप घनता साध्या मिलाव्याच्या निम्म्याहूनसुद्धा कमी असू शकते.

१९१७ साली जेव्हा माती व अश्म विस्तारित करण्याची प्रक्रिया विकसित झाली तेव्हा कमी खर्चाचा हलका फुलका मिलावा तयार करण्याच्या कल्पनेला चालना मिळाली.

द्रव धातुमळीमध्ये मर्यादित प्रमाणात पाणी किंवा संकोचित हवा सोडल्यास, वाफ किंवा हवेमुळे प्लास्टिक स्थितीत असलेली धातुमळी फुगून विस्तारित होते.

हलका फुलका मिलावा तयार करण्याकरिता साधारणतः कच्च्या मालाचा (माती, अश्म, स्लेट वगैरे) चुराडा करून, पाहिजे त्या आकाराच्या श्रेणी करून भाजतात; किंवा कच्च्या मालाचे प्रथम चूर्ण करतात व त्यात पाहिजे असल्यास वायू निर्माण करणारे पदार्थ मिसळून चूर्णाचे बारीक गोळे करून भाजतात. हे गोळे भाजले की आत वायूचे बुडबुडे निर्माण होऊन फुगतात व बाहेरचे कवच थोडे वितळून त्याचा कांचमय थर तयार होतो.

उडत्या रक्षेचासुद्धा अशा प्रकारचा मिलावा तयार करता येतो. अशा हलक्या मिलाव्याचे फायदे कोणते ?

(१) उंच उंच इमारतींमध्ये हलक्या फुलक्या मिलाव्याचा उपयोग केला तर इमारतीचा अचल भार कमी होतो. त्यामुळे इमारतीच्या भारधारी अवयवांवरचा भार कमी होतो व हे अवयव जरा लहान व कमी जाड चालू शकतात व त्यांना पोलाद कमी लागते.

(२) विस्तृत विस्ताराचे छप्पर घालणे जास्त सोयीचे जाते. तसेच अवकाशिक संरचनांना असा मिलावा जास्त सोयीचा ठरतो.

(३) हलक्या फुलक्या मिलाव्याचा उष्मारोध जास्त असल्याने इमारतीच्या आतले तपमान जास्त समशीतोष्ण राहते.

असा मिलावा त्यावर कराव्या लागणाऱ्या पूर्वप्रक्रियांमुळे महाग पडतो व त्यामुळे भारतात याचा अजून फार वापर झालेला नाही. तरी पण ह्या मिलाव्यामध्ये पुरेशी शक्ती असून तो टिकाऊही असतो.

० ० ० ० ०

सिमेंट काँक्रीट हा जरी अनेक दृष्टीने बांधकामाला सोइस्कर व स्वस्त जिन्नस आहे, तरी त्यात दोन उणीवा आहेत.

(१) तन्यबलाचे लहान मूल्य (दमन बलाच्या सुमारे १/१० इतकेच).

(२) दृढ होऊन पक्वविल्यानंतर ते वाळताना होणारे सुमारे ०.०७ टक्के आकुंचन.

तन्यबलाच्या लहान मूल्यामुळे ते फारतर ०.०१ ते ०.०२ टक्के इतकेच भंजनापूर्वी (बलक्षय होण्यापूर्वी) ताणता येते, व सिमेंट काँक्रीट आत पोलादी कांबींचा सांगाडा घालून प्रबलित करतात. १३०० कि. ग्रॅ./चौरस सें. मी. इतक्या तन्य दबावाने प्रबलनाची लांबी सुमारे ०.०६ टक्क्यांनी वाढू शकते. त्यामुळे अशा ताण दबावाखाली प्रबलनाआधी काँक्रीटलाच चिरा पडू लागतात. अर्थात प्रबलनावर इतका ताण दबाव येऊ नये म्हणून प्रबलनाची व काँक्रीटचीही जाडी जास्त ठेवावी लागते व त्यामुळे बांधकामाचे वजन व किंमत दोन्हीही वाढतात.

तसेच काँक्रीट व प्रबलन यांचेमधील भक्कम बंधामुळे काँक्रीट वाळताना त्याचे आकुंचनाला अडथळा होतो व म्हणून त्यामध्ये तन्य दबाव निर्माण होतो. काँक्रीटची शिळा फार मोठी असल्यास हा दबाव तन्यबलाबाहेर जाऊन काँक्रीटला भेगा पडतील. (आकृती ७–१). म्हणूनच सिमेंट काँक्रीट ओतून तयार केलेल्या लादीचे क्षेत्रफळ सुमारे २५० चौरस मीटरपर्यंतच असते.

यावर उपाय दोन :

(१) काँक्रीट पूर्वदमनित स्थितीत वापरणे.

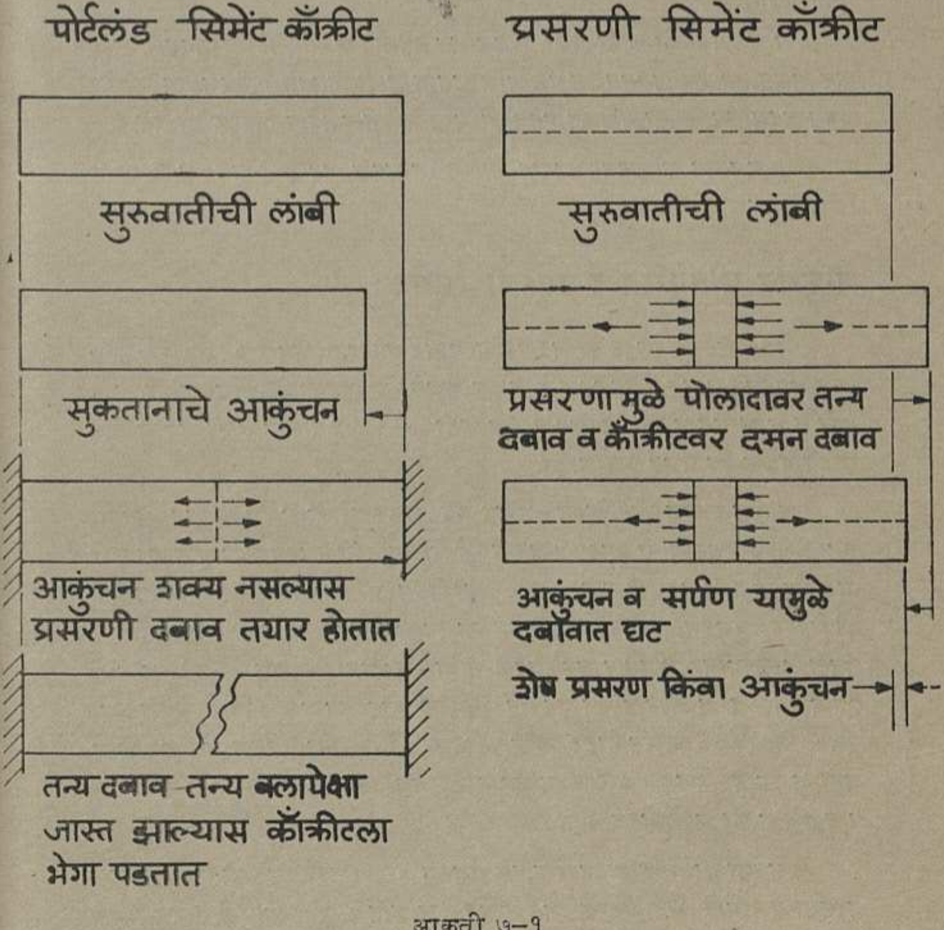
(२) आकुंचन प्रतिपूरित किंवा प्रसरणी सिमेंट वापरणे.

या दोन्हींची आपण थोडक्यात चर्चा करू.

पूर्व दमनित काँक्रीट :

काँक्रीट जर पूर्वदमनित स्थितीत ठेवले तर मागून त्यावर जे ताण दबाव येणार त्यांचे काही प्रमाणात किंवा संपूर्ण संतुलन पूर्वदमनामुळे होऊन अशा ठिकाणी काँक्रीटला चिरा पडणार नाहीत. पूर्वदमनित काँक्रीट तयार करण्याच्या दोन पद्धती :

(अ) पूर्व ताण देणे : ताणलेल्या स्थितीतल्या पोलादी तारांचा काँक्रीट ओतताना प्रबलन म्हणून उपयोग करणे व काँक्रीट पुरे दृढ व बलवान झाल्यावर काँक्रीट बाहेर तारा तोडणे. म्हणजे या तारा आकुंचन पावण्याचा प्रयत्न करतात आणि त्या व काँक्रीट यामधल्या भक्कम बंधामुळे काँक्रीटमध्ये दमन दबाव आणतात.


पोर्टलंड सिमेंट कॉंक्रीट
प्रसरणी सिमेंट कॉंक्रीट
सुरुवातीची लांबी
सुरुवातीची लांबी
सुकतानाचे आकुंचन
प्रसरणामुळे पोलादावर तन्य दबाव व कॉंक्रीटवर दमन दबाव
आकुंचन शक्य नसल्यास प्रसरणी दबाव तयार होतात
आकुंचन व सर्पण यामुळे दबावात घट
शेष प्रसरण किंवा आकुंचन
तन्य दबाव तन्य बलापेक्षा जास्त झाल्यास कॉंक्रीटला भेगा पडतात

आकृती ७–१

(ब) पश्चात ताण देणे : कॉंक्रीट दृढ व बलवान झाल्यावर त्यामध्ये आधीच ठेवलेल्या आरपार भोकांमधून तारा ओवून त्या ताणणे व या ताणलेल्या तारांची टोके कॉंक्रीटच्या दोन बाजूंच्या पृष्ठभागावर अडकविणे व अशा तऱ्हेने कॉंक्रीटमध्ये दमन दबाव आणणे.

सध्या प्रबलित कॉंक्रीटपेक्षा पूर्वदमनित कॉंक्रीट जास्त मोठा ताणदबाव सहन करू शकते, कारण जसजसा आपण ताण दबाव वाढवू तसतसे पूर्वदमनित कॉंक्रीट प्रथम अदमनित स्थितीला येऊन मगच त्यामध्ये खरे तन्य दबाव निर्माण होतील.

पूर्वदमनित कॉंक्रीटचा उपयोग रेल्वेचे सिलीपाट, हवाई संरचना वगैरे अनेक ठिकाणी होऊ लागला आहे.

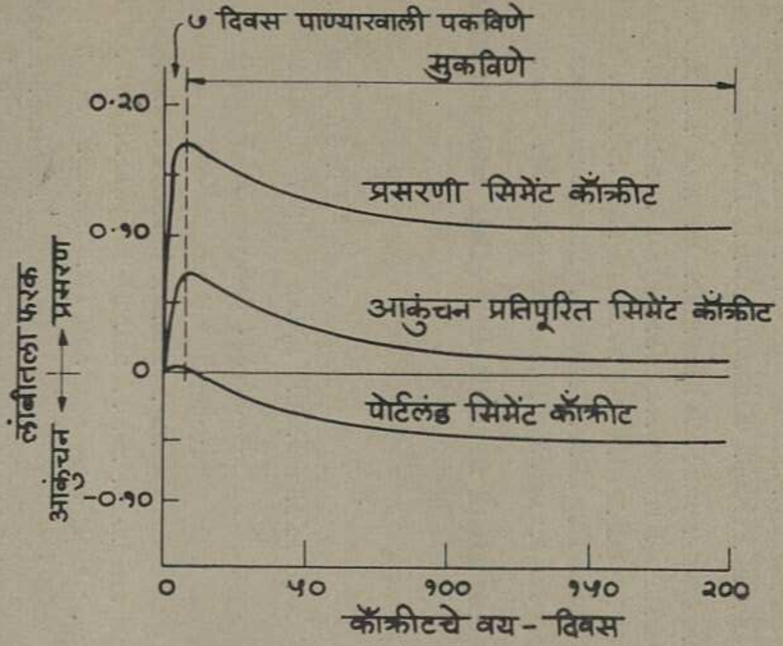
आकुंचन प्रतिपूरित व प्रसरणी सिमेंट :

साधे पोर्टलंड सिमेंट कॉंक्रीट पकविल्यावर वाळताना सुमारे ०.०५–०.०७ टक्के आकुंचन पावते व प्रबलनामुळे त्या आकुंचनाला अडथळा येऊन त्या कॉंक्रीटमध्ये नको ते ताण दबाव निर्माण होतात (आकृती ७–१). हे टाळण्यासाठी वरील दोन तऱ्हेचे बंधक विकसित केले आहेत.

आकुंचन प्रतिपूरित सिमेंट कॉंक्रीट दृढ होऊन पुढे त्याचा जलसंयोग होताना सुमारे ०.०७ टक्क्यांनी प्रसरण पावते व पुढे वाळताना हे प्रसरण कमी होतहोत फार थोडे शिल्लक राहते (आकृती ७–२). कॉंक्रीटमध्ये प्रबलन असेल तर त्यामुळे कॉंक्रीटच्या प्रसरणाला अडथळा येऊन प्रथम त्यामध्ये दमन दबाव निर्माण होतील व शेवटी वाळल्यावर हे दबाव जवळजवळ नाहीसे होतील (आकृती ७–१). यामध्ये पकविताना व वाळल्यावर ताणदबाव निर्माण होत नसल्यामुळे अशा कॉंक्रीटच्या १५०० ते २००० चौरस मीटर इतक्या मोठ्या क्षेत्रफळाच्या लाद्या बनविणे शक्य आहे व त्यांना चिरा वगैरे न पडल्यामुळे अशा कॉंक्रीटच्या एकसंध छपरातून पावसाचे पाणी वगैरे गळत नाही.

प्रसरणी सिमेंट कॉंक्रीटमध्ये पहिले प्रसरण ०.१५ टक्के इतके होऊन वाळल्या-वरसुद्धा ते सुमारे ०.१० टक्के इतके राहते (आकृती ७–२). त्यामुळे, प्रबलनामुळे याच्या प्रसरणाला अडथळा आला तर यामध्ये कायमचे दमन दबाव राहतील. म्हणजे हे "स्वयंदमनी" सिमेंट कॉंक्रीट आहे. अशा "स्वयंदमनी" सिमेंटचा अजून पूर्ण विकास झालेला नाही.

आकुंचन प्रतिपुरित व प्रसरणी सिमेंट ह्या दोन्ही सिमेंटमध्ये जलसंयोगामुळे होणारे प्रसरण दृढ झाल्यावर त्यात एट्रिंगाइट :


७ दिवस पाण्यारवाली पकविणे
सुकविणे
0·20
0·१0
0
-0·१0
लांबीतला फरक
आकुंचन ← → प्रसरण
प्रसरणी सिमेंट कॉंक्रीट
आकुंचन प्रतिपूरित सिमेंट कॉंक्रीट
पोर्टलंड सिमेंट कॉंक्रीट
0
५0
१00
१५0
२00
कॉंक्रीटचे वय - दिवस

आकृती ७–२

$$3\,CaO.\,Al_2O_3.\,3CaSO_4.\,31H_2O$$

हे संयुग तयार झाल्यामुळे होते.

(टीप : साध्या सिमेंटचा सल्फेट आयनांशी संबंध आल्याने त्यात एट्रिंगाइट हे संयुग तयार होते, व त्यावेळच्या प्रसरणी दबावामुळे सिमेंटच्या शिळेला तडे पडतात हे आपण पाहिले. परंतु याच संयुगाचे नियंत्रित संभवनामुळे ही खास सिमेंट्स् वापरता येतात.)

या दोन सिमेंटमधला सर्वात मुख्य घटक अर्थात पोर्टलंड सिमेंट होय व त्यामुळेच याना दमनबल मिळते. एट्रिंगाइट तयार होण्याकरिता ह्यात कॅल्शम सल्फेट व ॲल्यूमिनस् सिमेंट घालतात; व त्यामुळे सिमेंटमध्ये

SO_4 ४.५ – ६.५ टक्के पर्यंत

व Al_2O_3 ९ टक्के पर्यंत राहतात.

भारतात ए.सी.सी. 'M' प्रकारचे आकुंचन प्रतिपूरित सिमेंट गरजेप्रमाणे तयार करून पुरविते.

° ° ° ° °

विनियमित गठण होणारे अति शीघ्र दृढ होणारे सिमेंट :

पोर्टलंड सिमेंटचे गठणाचे प्रारंभिक व अंतिम असे दोन काल लक्षात घेतात. यापैकी प्रारंभिक कालाचे आधी सिमेंट काँक्रीट जाग्यावर ओतून बसवून झाले पाहिजे. परंतु काही तासांच्या अंतिम कालानंतरच ते दृढ होऊन त्यामध्ये बल येऊ लागते व ते भार वाहू शकते. या गठणाचे विनियमन जिप्समुळे होते व हे काल प्रवेगक किंवा प्रतिप्रवेगक यांचा काँक्रीटमध्ये समावेश करून आपण कमी-जास्त करू शकतो.

काँक्रीटच्या काही उपयोगांकरिता गठनाचे यापेक्षाही जास्त काटेकोर व पुरेसे लवचिक नियमन करणे उपयोगी ठरते. ह्याबद्दलच्या संशोधनातून प्रस्तुतच्या परिवर्तित पोर्टलंड सिमेंटचा शोध लागला. यामध्ये CaO, Al_2O_3 व CaF_2 यांचे त्रितयी मिश्र संयुग असते व या संयुगाची पाण्याशी जोराची विक्रिया होऊन ते आकस्मित गठते व दृढ होते. म्हणजे या तऱ्हेच्या सिमेंटचे गठणाचे प्रारंभिक व अंतिम काल जवळजवळ एकच असतात व हे काळ १–२ मिनिटांपासून अर्ध्या-पाऊण तासापर्यंत करता येतात. नंतर उदाहरणार्थ २ ते ४ तासात दमनबल १५०–२०० कि. ग्रॅ. / चौरस सें. मी. इतके वाढते. हे दमनबल पुढे काही तास कायम राहून मग साध्या पोर्टलंड सिमेंटप्रमाणे वाढू लागते.

विमानतळावरच्या धावपट्टीची दुरुस्ती वगैरे काही घाईच्या कामांना याचा खूपच उपयोग होईल.

ए. सी. सी. सेंट्रल रिसर्च स्टेशन, ठाणे ४००६०४ येथे ह्या अशा खास प्रकारचे लवकर दमनबल देणारे सिमेंट तयार करण्याची प्रक्रिया विकसित केली आहे.

० ० ० ० ०

तन्तुप्रबलित कॉंक्रीट :

ॲसबेसटॉस या तंतुमय खनिजाचा सिमेंटमध्ये कसा उपयोग करतात हे आपण मागल्या प्रकरणात पाहिले. परंतु हे खनिज थोड्याच देशांत मिळते, व त्यातल्या चांगल्या प्रतीच्या खनिजाचे हळूहळू रिक्तीकरण होत आहे. तसेच या खनिजाशी काम करणाऱ्यांना ॲसबेसटॉसिस या फुफ्फुसाच्या कॅन्सरची भीती असते.

म्हणून ॲसबेसटॉसशिवाय इतर विनिर्मित तंतू घालून कॉंक्रीट प्रबलित करण्याचे शक्यतेबद्दल शास्त्रज्ञांचे विचार चालू असल्यास नवल नाही. सिमेंटचे कमी तन्यबल व तन्यता विचारात घेतल्यास तंतूंचे पुढील वास्तविक गुणधर्म हवेत:

(अ) मोठा स्वाग्रह गुणांक;

(ब) मोठे तन्यबल;

(क) ताणल्यास भंग पावण्याचे वेळचे मोठ प्रसरण, व

(ड) सिमेंट पेस्टशी चांगला दुवा.

अशा तीन तऱ्हांच्या तंतूंचा विचार झाला आहे :

(१) काचेचे तंतू :

काचेच्या तंतूंचा व्यास सुमारे $\frac{1}{2}$ मि. मी. पेक्षा जितका कमी, तितके त्यांचे तन्यबल जास्त. प्रचारात असलेले ई–काचेचे तंतू आकारमानी १० टक्के घातल्यास सिमेंटचा भंग गुणांक दुपटीने वाढतो व संघट्टन रोध दसपट होतो. परंतु सिमेंटच्या अल्कधर्मी पर्यावरणाचा या तंतूंवर हल्ला चढून काही महिन्यातच या वास्तविक गुणधर्मांचे मूल्याचे अप्रबलित सिमेंटच्या गुणधर्मांइतके लघुकरण होते. यावर दोन उपाय असू शकतात :

(अ) काचेवर कार्बनी पदार्थाचे आवरण घालून हा अल्काचा हल्ला टाळणे;

(ब) खास अल्करोधक काचेचे तन्तु वापरणे.

हा दुसरा उपचार जास्त यशस्वी होण्याची शक्यता दिसू लागली आहे व ॲसबेसटॉसऐवजी काचतंतूंचा उपयोग करणे शक्य होण्याची चिन्हे दिसत आहेत.

(२) कार्बनी पदार्थांचे तंतू :

कापूस, रेयॉन, पॉलिएस्टर वगैरेच्या तंतूंवर अल्कधर्मी पर्यावरणाचा हल्ला होतो. नायलॉन, पॉलिप्रॉपिलीन, पॉलिएथिलीन यांच्यावर अल्काचा हल्ला होत नाही. परंतु ह्या तंतूंचा स्वाग्रहगुणांक कमी असल्यामुळे सिमेंटचे बलवर्धन फारसे होत नाही. पण नायलॉन व पॉलिप्रॉपिलीनमुळे संघट्टन रोध १० ते २५ पटींनी वाढतो. म्हणून स्फोटरोधाकरिता या प्रबलित काँक्रीटचा उपयोग होऊ शकेल.

(३) कमी कार्बन असलेल्या पोलादाचे तंतू :

पोलादी तंतूंचा स्वाग्रही गुणांक सिमेंटचे दसपट आहे, त्यांचे ताणल्यावर भंगाचे वेळचे प्रसरण मोठे आहे. तसेच, यांचा सिमेंटच्या पेस्टशी चांगला दुवा जडतो व हे तंतू सिमेंट मॅट्रिक्समध्ये मिसळण्यासही सोपे असतात.

हे तंतू पोलादाच्या तारा तोडून किंवा कृश तक्ते कापून तयार करतात. तंतूंची लांबी १२–१५ मि. मी. असते व गोलाकृती तंतूंचा व्यास १/४ ते १/२ मि. मी. इतका असतो. तंतूंचे स्थिती गुणोत्तर (लांबी/व्यास) ३०–१५० पर्यंत असते.

आकारमानी ४ टक्के तंतू घालून सिमेंट काँक्रीटचे नमनबल दुप्पट व दमनबल दीडपट वाढते. यापेक्षा जास्त प्रमाणात तंतू घातले किंवा त्यांचे स्थिती गुणोत्तर १०० पेक्षा वाढले तर त्यांचे सिमेंटशी मिश्रण करणे कठिण जाते.

तसेच, मिलाव्याचे एकूण आकारमान किंवा मोठ्या खडीचे आकारमान यात वाढ केल्यास मिश्रण करण्यास त्रास पडतो व बरेच वास्तविक गुणधर्म पुरेसे सुधारत नाहीत.

साध्या काँक्रीटमध्ये सिमेंट पेस्ट वजनी २४–३५ टक्के असते, तर येथे ती ३५–४० टक्के असते.

साध्या मॉर्टर किंवा काँक्रीटवर नमन दबाव वाढवत गेल्यास कमाल बलाची मर्यादा उल्लंघल्यावर त्याला भेगा पडून पुढे बल काहीच शिल्लक राहत नाही. परंतु अशा तंतू प्रबलित काँक्रीटमध्ये पहिल्या भेगा मॅट्रिक्समध्ये पडल्यावर त्या वाढून पुढे सरकत नाहीत, सगळ्या दमनाचा भार तंतू वाहू लागतात व काँक्रीटची शिळा बराच जास्त नमन दबाव सहन करू शकते. शेवटी तंतूंचा व सिमेंट पेस्टचा दुवा पुरेसा सामर्थ्यशाली नसल्यामुळे तंतू निघून येतात. अर्थशास्त्रीयदृष्ट्या सध्या तरी पोलादी तंतूंचा

उपयोग महाग पडत असल्याने ते काही विशेष कामाकरिताच वापरता येतील. ज्याप्रमाणात तंतू / सिमेंट पेस्ट यांमधला दुवा वाढविता येईल व मिश्रण करण्याच्या पद्धती सुधारल्यामुळे जास्त लांब तंतू वापरता येतील त्या प्रमाणात पोलादी तंतूंचा उपयोग वाढेल.

बहुवारिक संसिक्त काँक्रीट :

ज्याप्रमाणे निरनिराळ्या प्रकारचे तंतूंनी सिमेंट काँक्रीट प्रबलित करतात, त्याप्रमाणे इतर बहुवारिक पदार्थांचा काँक्रीटवर काय परिणाम होतो याबद्दल तीन तऱ्हांनी संशोधन चाललेले आहे.

(अ) **बहुवारिक संसिक्त काँक्रीट** : पूर्वनिर्मित दृढ सिमेंट काँक्रीटमध्ये द्रव एकवारिकाचे संसेचन करून नंतर त्याचे बहुवारिकीकरण करणे. याकरिता मिथाइल मेथॅक्रिलेट, स्टायरीन, ॲक्रिलोनायट्राइल वगैरेंचा वापर करून प्रयोग झाले.

(ब) **बहुवारिक सिमेंट काँक्रीट** : पाणी, सिमेंट, मिलावा व एकवारिक एकत्र कालवून ओतल्यावर सिमेंटचे दृढीकरण व त्याचवेळी एकवारिकाचे बहुवारिकीकरण.

(क) **बहुवारिक काँक्रीट** : मिलावा व एकवारिक एकत्र मिसळून ओतल्यावर बहुवारिकीकरण (सिमेंट न वापरता).

यापैकी पहिल्या प्रकारामुळे काँक्रीटच्या वास्तविक गुणधर्मांत सर्वात जास्त चांगले बदल होतात व म्हणून या पद्धतीवर जास्त संशोधन चालले आहे. या पद्धतीचा आपण विचार करू.

यामध्ये जलसंयुक्त दृढ काँक्रीट प्रथम १२५ सें. तपमानापर्यंत ठेवून त्यातल्या जास्तीच्या पाण्याचे बाष्पीभवन करतात. आता दृढ काँक्रीटचे निर्वातन करून आतली छिद्रे मोकळी करतात. लगेच काँक्रीट एकवारिकामध्ये बुडवून एकवारिक काँक्रीटच्या छिद्रात मुरू देतात. याकरिता एकवारिकावरचा दाब १॥–२ कि. ग्रॅ. / चौरस सें. मी. इतका वाढवतात.

एकवारिक मुरल्यावर त्याचे खालील दोनपैकी एका पद्धतीने बहुवारिकीकरण करतात.

(अ) उष्णीय निदेश पद्धत

(ब) गॅमा प्रारणांनी.

हे होत असताना एकवारिकाचे बाष्पीभवन व अपवाह टाळण्याची खबरदारी घेतात.

उष्णीय निदेश पद्धतीपेक्षा गॅमा प्रारणानी काँक्रीटला वटी जास्त बल मिळते व पहिल्या पद्धतीने काही एकवारिकांच्या बाबतीत कमीच बळ मिळते.

इतर पदार्थापेक्षा मिथाइल मेथॅक्रिलेट व त्यामध्ये १० टक्के त्रि-मिथाइलो प्रोपेन त्रि-मेथॅक्रिलेट घालून सर्वांत जास्त बल मिळाले.

या सर्व प्रक्रियेमुळे काँक्रीटच्या दमनबलात चौपटीने व स्वाग्रह गुणांकात दुपटीने वाढ होते.यामध्ये सिमेंट / मिलावा यामधला दुवा बळकट होतो, तो इतका की दमन बलाबाहेर दबाव आणल्यास ज्या भेगा पडतात त्या सिमेंट / मिलावा या मधल्या आंतरपृष्ठामधून न जाता मिलाव्यातून जातात व मिलाव्याला भेगा पडलेल्या दिसतात.

संसेचनामुळे आतापर्यंत १६०० कि. ग्रॅ. / चौरस सें. मी. एवढे मोठे दमनबल साध्या काँक्रीटपासून व २००० कि. ग्रॅ. / चौरस सें. मी. पेक्षा जास्त दाबाच्या वाफेमध्ये दृढीकरण झालेल्या काँक्रीटपासून मिळालेले आहे व ह्या काँक्रीटचा SO_4 रोधही जास्त चांगला असतो. काँक्रीट जर पोलादी तंतूंमुळे आधीच प्रबलित असेल तर त्याच्याही पाचपटीने दमनबल वाढते. आता दमन दबावाखाली तंतू आधीच सुटून न जाता उलट ते शेवटी तुटू लागतात.

बहुवारक लेटेक्स परर्वातत मॉर्टर व काँक्रीट :

सिमेंटबरोबर बहुवारिक लेटेक्स मिसळल्यास काय परिणाम होतात ह्याकडे शास्त्रज्ञांचे बरेच वर्षापूर्वी लक्ष गेले. प्रथम रबर व नंतर पॉलिव्हिनाइल ॲसिटेट लेटेक्समुळे परिर्वातत मॉर्टरचा काँक्रीटशी दुवा बळकट होतो व याचे दमनबल व तन्यबल जास्त चांगले होते असे दिसून आले. परंतु हे सर्व पदार्थ तितकेसे जलरोधक नाहीत.

त्यानंतरच्या स्टायरीन– ब्यूटॅडाइन लेटेक्स मॉर्टरमध्ये वर दिलेले गुण असून त्यांचा जलरोधही चांगला आहे असे दिसून आले.

म्हणून अशा तऱ्हेच्या बहुवारिक लेटेक्स परिर्वातत मॉर्टरचा जेथेजेथे काँक्रीटवर पाण्याचा मारा होईल– उदा०– पुलावरच्या रस्त्यावर, मोठ्या बोटींमध्ये भुईवर, इमारतीच्या बाहेरील बाजूस– तेथे पृष्ठभागावर उपयोग होतो असे दिसून आले आहे.

० ० ० ० ०

परिशिष्ट १

या विषयावरील काही "भारतीय मानक विशिष्टी" (Indian Standard Specifications).

IS : 269–1967* Ordinary, rapid–hardening and low heat Portland cement.

IS : 4031–1968 Methods of physical teats for hydraulic Cements.

IS : 4032–1968 Methods of chemical analysis for hydraulic cements.

IS : 650–1966 Standard sand for testing of cement.

IS : 455–1967 Portland blast furnace slag cement.

IS : 1489–1967 Portland — pozzolana cement.

IS : 1727–1967 Methods of test for pozzolanic materials.

IS : 6909–1973 Supersulphated cement.

IS : 6452–1972 High alumina cement for structural use.

IS : 2250–1965 Code of practice for preparation and use of masonry mortars.

IS : 383–1970 Coarse and fine aggregates from natural sources for concrete.

IS : 515–1959 Natural and manufactured aggregates for use in mass concrete.

IS : 2386–1963 Methods of test for aggregates for concrete.

Part I Particle size and shape.

---

* ज्या वर्षी विशिष्टी तयार झाली किंवा, १९७२ पर्यंत ज्या साली विशिष्टींमध्ये फेरफार झाले, ते साल. यानंतर विशिष्टींमध्ये फेरफार झाले तर त्या बदलीसकट विशिष्टी विचारात घेणे जरूर आहे.

Part II Estimation of deleterious materials and organic impurities.

Part III Specific gravity, density, voids, absorption and bulking.

Part IV Mechanical properties.

Part V Soundness.

Part VI Measuring mortar making properties of fine aggregate.

Part VII Alkali aggregate reactivity.

Part VIII Petrographic examination.

IS : 516–1959 Methods of test for strength of concrete.

IS : 456–1964 Code of practice for plain and reinforced concrete.

IS : 2645–1964 Integral Cement waterproofing compounds.

IS : 432–1966 Mild steel medium tensile steel bars (Part I) and hard-drawn steel wire (Part II) for concrete reinforcement.

IS : 1139–1966 Hot-rolled mild steel, medium tensile steel and high yield strength steel deformed bars for concrete reinforcement.

IS : 1786–1966 Cold-twisted steel bars for concrete reinforcement.

IS : 1566–1967 Hard-drawn steel wire fabric for concrete reinforcement.

IS : 226–1969 Structural steel (standard quality).

IS : 2185–1967 Hollow cement concrete blocks.

IS : 2572–1963 Code of practice for construction of hollow concrete block masonry.

परिशिष्ट २

संदर्भ सूची

Bogue R. H., "The Chemistry of Portland Cement", Reinhold Publishing Corpn., New York (1947).

Czernin W, "Cement Chemistry and Physics for Civil Engineers", Crosby Lockwood & Son Ltd., London (1962).

Davis C., "Portland Cement", Concrete Publications Ltd., London, 2nd edn. of 1943, (1948).

Lea F. M., "The Chemistry of Cement and Concrete", Edward Arnold (Publishers) Ltd., London, 2nd edn. (1956).

Taylor H. F. W., "The Chemistry of Cements", Vols. I & II, Academic Press, London & New York (1964).

Witt J. C., "Portland Cement Technology", Chemical Publishing Inc., New York (1966).

Podder V., "Cement Industry in India", Rohtas Industries Ltd., Dalmianagar, Bihar (1962).

Pryor E. J., "Mineral Processing," Elsevier Publishing Co. Ltd., London, 3rd edn. (1965).

"Pit & Quarry Handbook and Purchasing Guide", Pit & Quarry Publications Inc., Chicago, 65th edn. (1972–73).

Vinayaka M. R., "Cement Concrete" (Lecture Notes), Irrigation and Power Department, Bombay (1968).

Taylor W. H., "Concrete Technology and Practice", Angus and Robertson Ltd., 2nd edn. (1967).

Illingworth J. R., "Movement and Distribution of Concrete", M. Graw Hill, London (1972).

Deshpande R. S., " Materials of Construction," United book Corpn., Poona (1946).

" Concrete Handbook ", The Concrete Association of India, Bombay (1969).

" Concrete Manual ", U. S. Department of the Interior, Bureau of Reclamation, Denver, Colorado, 7th edn. (1966).

" Ferrocement : Applications in Developing Countries," a report, National Academy of Sciences, Washington, U. S. A., (1973).

" कॉंक्रीट कामगारांचा मार्गदर्शक ", भाग १ ते ५, कॉंक्रीट असोसिएशन ऑफ इंडिया, मुंबई (१९७१).

घारपुरे मा. खं, " पोर्टलंड सिमेंट – उत्पादन व गुणधर्म ", मराठी विज्ञान परिषद पत्रिका, १ (४), जुलै (१९६८).

" Process of Cement Manufacture "– Seminar on Appropriate Technology for Cement Manufacture, Cement Research Institute of India, 30 & 31 March (1974).

" Cement Machinery "– Third Cement Industry Operations Seminar, Cement Research Institute of India, 7–10 March (1973).

" New Materials in Concrete Construction," Proceedings of the Conference", Ed. Shah S. P., University of Illinois at Chicago Circle, Chicago, 15–17 Dec. (1972).

" Cement ', Quarterly Journal of the Cement Manufacturers' Association, 8 (1), Oct. (1974).

o o o o o

परिशिष्ट ३

परिभाषा शब्दसंग्रह (Terminological Vocabulary)

मराठी–इंग्रजी

अ

अंगारक– cinders.
अग्निजित विटा– refractory bricks
अचल भार– dead weight
अधिष्ठापित क्षमता– installed capacity
अनुजात– derivative
अनुषंगी– capillary
अपघर्षण रोध– abrasion resistance
अपवाह– drainage
अप्रभावी– weak
अफेनद जल– hard water
अभियांत्रिकी– engineering
अर्धसुकी पद्धत– semidry process
अल्क– alkali
अल्कधर्मी– alkaline
अल्पोष्मदायी– low heat
अवपातन– sedimentation
अवशेष– residue
अवसादन– sedimentation
अविद्राव्य– insoluble
अव्युत्क्रमी– irreversible
अश्म– shale
अस्तर– lining
अस्थिर– unstable
अस्फटिकी– non-crystalline; amorphous

आ

आकस्मिक गठण– flash set
आकार– size
आकार्य आकुंचन– plastic shrinkage
आकार्य ओघ– plastic flow
आकार्य विकृती– plastic deformation
आकुंचन– shrinkage
आकुंचन प्रतिपूरित– shrinkage compensated
आघात– impact
आर्द्रता– humidity
आवर्तन– cycle
आवाका– range
आसादन– approximation

इ

इंधन– fuel

उ

उडती रक्षा– fly ash
उत्पादन प्रक्रिया– manufacturing process
ऊर्ध्वपतित– distilled
उपग्रह– satellite
उपफल– bye-product
उष्णता निरोधक– thermal insulation

उष्णदायी– exothermic
उष्णधानी शिसा– thermos flask
उष्णीय आकुंचन / प्रसरण– thermal contraction / expansion
उष्णीय निदेश पद्धत– thermal catalytic process

ऋ

ऋजुकरण– calibration

ए

एकमध्य– concentric
एकवारिक– monomer
एकविध– uniform

ओ

ओली पद्धत– wet process

क

कच्चा माल– raw materials
कच्ची द्रव्ये– raw materials
कणविस्तार विभाजन– particle size distribution
कणगी– silo
कंपक यंत्र– vibrator
कवच– shell
कवची– shelly
कस– grade; quality
कार्यप्रवण– active
कार्यक्षमता– capacity
कृत्रिम हलका फुलका मिलावा– synthetic light weight aggregate
कोनीय– angular
काँक्रीट– concrete
काँक्रीटचे पोकळ ठोकळे– hollow concrete blocks
क्रियातुर– active

ख

खंगर– clinker.
खटिमय– calcareous.
खाण– quarry.
खारवणी– lye.

ग

गठण– setting
गढुळता मापक– turbidimeter
गार– quartz
गालन पत्र– filter paper
गाळाचा– sedimentary
गुणधर्म– property
गुणपद– factor
गुणांक– modulus
गुणोत्तर– ratio
गुरुत्वप्रेरक–force of gravity

घ

घनीकरण–compaction

च

चक्की– mill
चक्री भट्टी– rotary kiln

चिखल (चुन्याचा) – (lime) sludge
चित्याकृती– cylindrical
चिमणी– chimney
चुनकळी– lime
चुनखडक– limestone
चुनखडीचा दगड– limestone
चुनातृप्ती गुणपद– lime saturation factor
चूरक यंत्र– crusher
चूर्ण– powder
चूर्णीय– calcareous
चेंबर– chamber

छ

छिद्र– pore

ज

जबडा चूरक– jaw crusher
जलद दृढ होणारे– rapid hardening
जलद्वेषी– hydrophobic
जलधारण क्षमता– water retentivity
जलनिरोधक– waterproofer
जलप्रेमी– hydrophylic
जलविरागी– hydrophobic
जलसंयोग– hydrativn
जलसंयोगी बंधक– hydraulic binder
जलोठीय मळी– alluvial silt
जाम भाजलेला– dead burnt
जेल– gel
ज्वलनतंत्रज्ञ– burner
ज्वलनांती घट– loss on ignition

झ

झोतभट्टी– blast furnace

ट

ट्रास– trass

ढ

ढवळणी– stirrer

त

तन्यबल– tensile strength
तयार मिश्रित– ready mixed
तरण कर्ता– floating agent
तरल– fluid
तेल विहीर– oil well
त्रिमात्र– cube

द

दट्टया– plunger
दमनबल– compressive strength
दमन दबाव– compressive stress
दळणाकरिता माध्यम–grinding media
दाणेदार– granulated
दुय्यम– secondary
दृढ होणे– harden
द्रवीकरण– liquifaction

ध

धनायनी– anionic
धातुपाषाण– ore
धातुमळी– slag

न

नदीच्या मुखाचा चिखल–esturian mud
नमनबल– flexural strength

निर्जल– anhydrous
निर्जलीकरण– dehydration
निजलीकृत– dehydrated
निर्वातन– evacuation
निष्क्रिय– inactive
निक्षेप– deposit; precipitate

प

परिभ्रमी चूरक– gyratory crusher
परिमाण– quantity
परिवर्तित– modified
परिवलित– spun
पर्यावरण– environment
पार्यता– permeability
पुनर्प्रक्रिया– reprocess
पूड– powder
पूर्वतापक– preheater
पूर्वदमनित– prestressed
पूर्वनिर्मित– precast
पृष्ठकार्यशील द्रव्ये– surface active agents
पृष्ठस्तर– surface layer
प्रकाश विद्युत् घट– photo-electric cell
प्रकीर्ण– scatter
प्रक्रिया– process
प्रतिप्रवेगक– retarder
प्रतिसमतोलन– counterbalancing
प्रबलन– reinforcement
प्रभावी– strong
प्रमाणित– standard
प्रलंब– normal
प्रवाही– fluid
प्रवाळ– coral
प्रवेगक– accelerator
प्रवेगकर– accelerator
प्रसरणी– expansive
प्रसरणी दबाव– expansive stress
प्राथमिक– primary
प्रारण– radiation
प्रारूपिक– typical
प्रेरक– force

फ

फुलणे– bulking
फुलारणे– effloresce
फेनदजल– soft water
फेसकर्ता– frother
फेसतरण प्रक्रिया– froth flotation process

ब

बंधक– binder
बहुवारिक– polymer
बहुवारिकीकरण– polymerization

भ

भंग गुणांक– modulus of rupture
भट्टी– kiln
भरड अवशेष– coarse residue
भारतीय मानक विशिष्टी– Indian Standard Specification
भारतीय मानक संस्था– Indian Standards Institution
भुकटी– powder

म

मचूळ– brackish
मळी– molasses

मिलावा– aggregate
मुरुम– murram
मृण्मय– argillaceous
मृत्कलेचे अस्तर– ceramic lining
मॉर्टर– mortar

य

युग्मक– coupling

र

राळा– slurry
रेणू– molecule
रेणुभार– molar
रोध– resistance

ल

लटके गठण– false set
लवण– salt
लोहधातुपाषाण– iron ore
लोही सिमेंट– ferrocement

व

वातित– aerated
वायुबंधक द्राव– air entraining agent
वायुसारक द्राव– air detraining agent
वावटळी पूर्वतापक–cyclone preheater
वास्तविक– physical
विकिरण– diffusion
विकीर्ण– diffuse
विक्रिया– reaction
विक्रियाशील– reactive
विद्रव– solution
विद्रवणे– dissolve
विद्राव्य– soluble
विनियमित गठण होणारे–set regulated
विधण्याचे हत्यार– pneumatic drill
विभाजन– distribution
विमध्य– eccentric
विरघळणे– dissolve
विशिष्ट– specific
विशिष्ट आकारमान–specific volume
विशिष्टगुरुत्व– specific gravity
विशिष्ट पृष्ठक्षेत्र– specific surface area
विशुद्धी– impurity
विशोधकीकरण– fluxing
विष्यंदिता– viscosity
विस्तार– size
विस्तारित करणे– bloating
व्युत्क्रमी– reversible

श

शंकु चूरक– cone crusher
शंकुशीर्ष– cone head
श्रेणीकृत– graded

स

संकोचित हवा– compressed air
संघट्टण रोध– impact resistance
संघटना– consistency
सच्छिद्र– porous
सजल– hydrated, hydrous

संधारण– suspension
समांगता– soundness
समावेशक– additive; admixture
संमर्दक बल– crushing strength
संरचना– structure
सर्पण– creep
सर्वसाधारण– ordinary
संसिक्त– impregnated
संसेचन– impregnation
सिमीट– cement
सिमेंट– cement
सिलिका गुणांक– silica modulus
सिलीपाट– sleeper
सुकरता– workability
सुकीपद्धत– dry process
सुभाज– schist
स्थायित्व– durability
स्पंदने– pulsations; vibrations; oscillations
स्पर्शदिशेने– tangentially
स्फटिक– crystal
स्लेट– slate
स्वयंदमन– self-stress
स्वाग्रह गुणांक–modulus of elasticity

ह

हवा निर्गम द्वार– air vent

क्ष

क्षपित– reduced

० ० ० ० ०

परिशिष्ट ४

परिभाषा संग्रह, इंग्रजी–मराठी

A

Abrasion resistance– अपघर्षण रोध
Accelerator– प्रवेगक; प्रवेगकर
Active– कार्यप्रवण; क्रियातुर
Additive– समावेशक
Admixture– समावेशक
Aerated– वातित
Aggregate– मिलावा
Air detraining agent– वायुसारक द्राव
Air entraining agent– वायुबंधक द्राव
Air vent– हवा निर्गम द्वार
Alkali– अल्क
Alkaline– अल्कधर्मी
Amorphous– अस्फटिकी
Angular– कोनीय
Anionic– धनायनी
Approximation– आसादन
Argillaceous– मृण्मय

B

Binder– बंधक
Bloating- विस्तारित करणे
Brackish– मचूळ
Bulking– फुलणे
Bye-product– उपफल

C

Calcareous– खटिमय; चूर्णीय
Calibration– ऋजुकरण
Capacity– कार्यक्षमता
Capillary– अनुषंगी
Cement– सिमीट; सिमेंट
Ceramic lining– मृत्कलेचे अस्तर
Chamber– चेंबर
Chimney– चिमणी
Cinders– अंगारक
Clinker– खंगर
Coarse residue– भरड अवशेष
Compaction– घनीकरण
Compressed air– संकोचित हवा
Compressive strength– दमनबल
Compressive stress– दमन दबाव
Concentric– एकमध्य
Concrete– काँक्रीट
Cone Crusher– शंकु चूरक
Cone head– शंकु शीर्ष
Consistency– संघटना
Coral– प्रवाळ
Counterbalancing– प्रतिसमतोलन
Coupling– युग्मक
Creep– सर्पण
Crusher– चूरक यंत्र
Crushing Strength– संमर्दक बल
Crystal– स्फटिक
Cube– त्रिमात्र
Cycle– आवर्तन

Cyclone preheater- वावटळी पूर्वतापक
Cylindrical- चित्याकृती

D

Dead weight- अचल भार
Derivative- अनुजात
Diffuse- विकीर्ण
Diffusion- विकिरण
Dissolve- विद्रवणे; विरघळणे
Distilled- ऊर्ध्वपतित
Distribution- विभाजन
Drainage- अपवाह
Dry process- सुकीपद्धत
Durability स्थायित्व

E

Eccentric- विमध्य
Effloresce- फुलारणे
Engineering- अभियांत्रिकी
Environment- पर्यावरण
Esturian mud- नदीच्या मुखाचा चिखल
Exothermic- उष्णदायी
Expansive- प्रसरणी
Expansive stress- प्रसरणी दबाव

F

Factor- गुणपद
False set- लटके गठण
Ferrocement- लोही सिमेंट
Filter paper- गालन पत्र
Flash set- आकस्मिक गठण
Flexural strength- नमन बल
Floating agent- तरण कर्ता
Fluid- तरल; प्रवाही
Fluxing- विशोधकीकरण
Fly ash- उडती रक्षा
Force- प्रेरक
Force of gravity- गुरुत्व प्रेरक
Frother- फेसकर्ता
Froth flotation process- फेसतरण प्रक्रिया
Fuel- इंधन

G

Grade- कस
Graded- श्रेणीकृत
Granulated- दाणेदार
Grinding media- दळणाकरिता माध्यम

H

Hard water- अफेनद जल
Harden- दृढ होणे
Hollow concrete blocks- कांक्रीटचे पोकळ ठोकळे
Humidity- आर्द्रता
Hydrated- सजल
Hydrous- सजल

I

Impact- आघात
Impact resistance- संघट्टण रोध
Impregnated- संसिक्त
Impregnation- संसेचन
Impurity- विशुद्धी
Indian Standard Specification- भारतीय मानक विशिष्टी
Indian Standards Institution- भारतीय मानक संस्था
Insoluble- अविद्राव्य

Installed capacity–अधिष्ठापित क्षमता
Iron ore– लोहधातुपाषाण
Irreversible– अव्युत्क्रमी

J

Jaw crusher– जबडा चूरक

K

Kiln– भट्टी

L

Lime– चुनकळी
Lime saturation factor– चुनातृप्ती गुणपद
Lime sludge– चुन्याचा चिखल
Limestone– चुनखडक; चुनखडीचा दगड
Lining– अस्तर
Liquefaction– द्रवीकरण
Low heat– अल्पोष्मदायी
Lye– खारवणी

M

Manufacturing process– उत्पादन प्रक्रिया
Mill–चक्की
Modified– परिवर्तित
Modulus- गुणांक
Modulus of elasticity– स्वाग्रह गुणांक
Modulus of rupture– भंग गुणांक
Molar– रेणुभार
Molasses– मळी
Molecule– रेणू
Monomer– एकवारिक
Mortar– मॉर्टर
Murram– मुरुम

N

Non-crystalline– अस्फटिकी
Normal– प्रलंब

O

Oil well–तेल विहीर
Ordinary– सर्वसाधारण
Ore– धातुपाषाण
Oscillations– स्पंदने

P

Particle size distribution– कण विस्तार विभाजन
Permeability– पार्यता
Photoelectric cell– प्रकाश विद्युत् घट
Physical– वास्तविक
Plastic deformation– आकार्य विकृती
Plastic flow– आकार्य ओघ
Plastic shrinkage– आकार्य आकुंचन
Plunger– दट्ट्या
Pneumatic drill– विधण्याचे हत्यार
Polymer– बहुवारिक
Polymerization– बहुवारिकीकरण
Pore–छिद्र
Porous– सच्छिद्र
Powder– चूर्ण; पूड; भुकटी
Precast– पूर्वनिर्मित
Preheater– पूर्वतापक
Prestressed– पूर्वदमनित
Primary– प्राथमिक
Process– प्रक्रिया
Property गुणधर्म
Pulsations–स्पंदने

Q

Quality– कस
Quantity– परिमाण
Quarry– खाण
Quartz– गार

R

Radiation– प्रारण
Range– आवाका
Ratio– गुणोत्तर
Raw materials– कच्चा माल; कच्ची द्रव्यें
Reaction– विक्रिया
Reactive– विक्रियाशील
Ready mixed– तयार मिश्रित
Reduced– क्षपित
Refractory bricks– अग्निजित विटा
Reinforcement– प्रबलन
Reprocess– पुनंप्रक्रिया
Residue– अवशेष
Resistance– रोध
Retarder– प्रतिप्रवेगक
Reversible– व्युत्क्रमी
Rotary kiln– चक्रीभट्टी

S

Salt– लवण
Satellite– उपग्रह
Scatter– प्रकीर्ण
Schist– सुभाज
Secondary– दुय्यम
Sedimentary– गाळाचा
Sedimentation– अवपातन; अवसादन
Self-stress– स्वयंदमन
Semidry process– अर्धसुकी पद्धत
Set regulated– विनियमित गठण
Setting– गठण
Shale– अष्म
Shell– कवच
Shelly– कवची
Shrinkage– आकुंचन
Shrinkage compensated– आकुंचन प्रतिपूरित
Silica modulus– सिलिका गुणांक
Silo– कणगी
Size– आकार; विस्तार
Slag– धातुमळी
Slate– स्लेट
Sleeper– सिलीपाट
Sludge– चिखल
Slurry– राळा
Soft Water– फेनद जल
Soluble– विद्राव्य
Solution– विद्रव
Soundness– सभांगता
Specific– विशिष्ट
Specific gravity– विशिष्ट गुरुत्व
Specific surface (area)– विशिष्ट पृष्ठक्षेत्र
Specific volume– विशिष्ट आकारमान
Spun– परिवर्तित
Standard– प्रमाणित
Stirrer– ढवळणी
Strong– प्रभावी
Structure– संरचना
Surface active agents– पृष्ठकार्यशील द्रव्ये

Surface layer– पृष्ठस्तर
Suspension– संधारण
Synthetic light weight aggregate– कृत्रिम हलका-फुलका मिलावा

T

Tangentially– स्पर्शदिशेने
Tensile strength– तन्यबल
Thermal catalytic process– उष्णीय निदेश पद्धत
Thermal contraction/expansion – उष्णीय आकुंचन/प्रसरण
Thermal insulation– उष्णता निरोधक
Thermos flask– उष्णधानी शिसा
Trass– ट्रास
Turbidimeter– गढुळता मापक
Typical– प्रारूपिक

U

Uniform– एकविध
Unstable– अस्थिर

V

Vibrations– स्पंदने
Vibrator– कंपक यंत्र
Viscosity– विष्यंदिता

W

Weak– अप्रभावी
Wet process– ओली पद्धत
Workability– सुकरता

पुरवणी–परिशिष्ट ५ : सिमेंटची नवीन मापके (शेवटच्या सूचना पाहा.)

	पोर्टलंड सिमेंट			मिश्र सिमेंट		प्रबल सिमेंट	पांढरे सिमेंट	जल विरागी सिमेंट
	सर्वसाधारण	जलद दृढ होणारे	अल्पोष्मदायी	पोर्ट झोतभट्टी धातुमळी	पोर्ट पोझोलॅना	८११२:१९७६	८०४२ई:७६	८०४३ई:७६
भा. मानक विशिष्टी	२६९:१९७६	८०४१ई:१९७६	२६९:१९७६	४५५:१९७६	१४८९:१९७६			
विशिष्ट पृष्ठक्षेत्र चौ. सें मी./ग्रॅ. (किमान)	२२५०	३२५०	३२००	२२५०	३०००	३५००	२२५०	३५००
गठणाचा काल-मिनिटे								
प्रारंभिक (किमान)	३०	३०	६०	३०	३०	३०	३०	३०
अंतिम (कमाल)	६००	६००	६००	६००	६००	६००	६००	६००
दमनबल कि. ग्रॅ./ चौ. सें मी. (किमान)								
१ दिवसाने	—	१६०	—	—	—	—	—	—
३ दिवसांनी	१६०	२७५	१००	१६०	—	२३०	१४४	१६०
७ दिवसांनी	२२०	—	१६०	२२०	२२०	३३०	१९८	२२०
२८ दिवसांनी	—	—	३५०	—	३१०	४३०	—	३१०
समांगता ल शॅतिलिए प्रसरण मि. मी. (कमाल)	१०	१०	१०	१०	१०	१०	१०	१०
ऑटोक्लिव्ह „ „	०.८	०.८	०.८	०.८	०.८	०.८	०.८	०.८
धातुमळीचे प्रमाण %	—	—	—	२५–६५	—	—	—	—
पोझोलॅनाचे „	—	—	—	—	१०–२५	—	—	—
अविद्राव्य अवशेष % (कमाल)	२.०	२.०	२.०	२.५	पोझोलॅनाचे प्रमाण	२.०	२.०	२.०
MgO % (कमाल)	६.०	६.०	६.०	८.०	६.०	६.०	६.०	६.०
SO_3 „								
C_3A ७% वा कमी	२.७५	२.७५	२.७५	३.०	२.७५	२.७५	२.७५	२.७५
C_3A ७% पेक्षा जास्त	३.०	३.०	३.०	३.०	३.०	३.०	३.०	३.०
ज्वलनांती घट %(कमाल)	५.०	५.०	५.०	४.०	५.०	४.०	—	५.०
Fe_2O_3 % (कमाल)	—	—	—	—	—	—	१.०	—

सूचना : (१) हे पुस्तक पुरे झाल्यानंतर मानकांत झालेले फेरफार वरील पहिल्या ५ रकान्यांत दिले आहेत. त्यांचा उपयोग पृष्ठ ७७–७८ वरील कोष्टक ५:१ मध्ये व इतर जरूरीच्या जागी (उदा० पृष्ठ ३७, ५५, ६४, ७०, ७२) करावा.

(२) कोष्टक क्र. ५:१ मधील "अधीक सल्फेटेड" व "ॲल्यूमिनस" सिमेंटाच्या मानकात बदल नाही.

(३) कोष्टक क्र. ५:१ पृष्ठ ७७ वर "८ दिवसांनी" ऐवजी "७ दिवसांनी" अशी दुरुस्ती करावी.

(४) पुरवणीत ३ प्रकारच्या सिमेंटची नवी मानके दिली आहेत.

साहित्य आणि संस्कृती मंडळ
महाराष्ट्र राज्य

साहित्य आणि संस्कृति मंडळ
महाराष्ट्र राज्य

साहित्य आणि संस्कृति मंडळ
महाराष्ट्र राज्य

९